

TUGAS AKHIR - TM141585

**PERANCANGAN TERMAL SISTEM VHT (*VAPOR
HEAT TREATMENT*) UKURAN PETI KEMAS 20
KAKI UNTUK MEMPERTAHANKAN KUALITAS
BUAH-BUAHAN**

**ANDRIAN SUTRIAWAN
NRP 2112100147**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - TM141585

**PERANCANGAN TERMAL SISTEM VHT (*VAPOR
HEAT TREATMENT*) UKURAN PETI KEMAS 20
KAKI UNTUK MEMPERTAHANKAN KUALITAS
BUAH-BUAHAN**

**ANDRIAN SUTRIAWAN
NRP 2112100147**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM141585

**THERMAL DESIGN OF VHT (VAPOR HEAT
TREATMENT) SYSTEM 20 FEET CONTAINER TO
MAINTAIN QUALITY OF FRUIT**

**ANDRIAN SUTRIAWAN
NRP 2112100147**

**Supervisor
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Tehcnology
Surabaya 2017**

**PERANCANGAN TERMAL SISTEM VHT (VAPOR
HEAT TREATMENT) UKURAN PETI KEMAS 20
KAKI UNTUK MEMPERTAHAKAN KUALITAS
BUAH BUAHAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANDRIAN SUTRIAWAN

NRP. 2112 100 147

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME (Pembimbing)
NIP. 195312191981031001
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng. (Penguji I)
NIP. 196505051990031005
3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT. (Penguji II)
NIP. 197301161997021001
4. Bambang Arip Dwiyantoro, ST, M.Sc. Ph.D (Penguji III)
NIP. 197804012002121001

SURABAYA

JULI, 2017

PERANCANGAN TERMAL SISTEM VHT (VAPOR HEAT TREATMENT) UKURAN PETI KEMAS 20 KAKI UNTUK MEMPERTAHANKAN KUALITAS BUAH-BUAHAN

Nama : Andrian Sutriawan
NRP : 2112 100 147
Jurusan / Fakultas : Teknik Mesin / FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh W, ME

Abstrak

Buah merupakan salah satu sumber pangan untuk masyarakat yang diproduksi massal di perkebunan. Buah dapat dikonsumsi secara langsung atau diolah terlebih dahulu. Pada saat penyimpanan atau saat pengolahan ada kemungkinan penurunan kualitas buah yang diakibatkan oleh perubahan molekul karena enzim, ada hama yang menempel, dan pengurangan kadar air. Hal ini dapat diatasi dengan memberi perlakuan panas pada buah menggunakan udara lembab atau menggunakan sistem VHT (Vapor Heat Treatment).

Perancangan sistem VHT ini terdiri dari rancangan konstruksi ruang pengondisian dan susunan komponen sistem VHT. Sistem VHT terdiri dari pemanas udara, pelembab udara, fan, dan pemanas air. Udara akan dipanaskan kemudian dicampur dengan air yang berbentuk kabut sehingga air akan mudah menguap dan bercampur dengan udara dan menjadi udara jenuh. Udara jenuh yang panas ini akan dialirkan ke ruang pengondisian yang telah diisi oleh buah dengan kapasitas total 3180 kg. Buah dipanaskan hingga mencapai temperatur target yaitu saat $T=60^{\circ}\text{C}$ sehingga hama yang menempel pada buah akan mati, enzim pada buah akan mengalami denaturasi, dan kadar air pada buah akan terjaga sehingga kualitas buah akan terjaga.

Dengan analisis kesetimbangan massa dan energi, aliran kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan buah adalah 58.47 kW, kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan udara adalah 14.0384 kW, kalor yang dibutuhkan oleh pemanas air adalah 2.8 kW dengan laju alir massa udara sebesar 14.0384 kg/s dan konsumsi air sebesar 0.02106 kg/s. Analisis kesetimbangan energi dan massa ditinjau pada saat unit VHT mulai bekerja.

Kata kunci: VHT (Vapor Heat Treatment), kualitas buah

THERMAL DESIGN OF VHT (VAPOR HEAT TREATMENT) SYSTEM 20 FEET CONTAINER TO MAINTAIN QUALITY OF FRUIT

Name : Andrian Sutriawan
NRP : 2112 100 147
Department/Faculty : Mechanical Engineering / FTI – ITS
Advisor : Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh W, ME

Abstract

Fruit is one source of food for communities which mass produced in plantation. Fruit can be consumed directly or processed first. When fruit is being stored or during processing there is possibility of decreasing the quality of the fruit caused by molecular changes due to enzyme, pest attached, and reduction of water content. This can be overcome by giving heat treatment to the fruits by using VHT (Vapor Heat Treatment) system.

The design of VHT system consist of the design of the conditioning chamber construction and the arrangement of the components. The VHT system consist of air heaters, humidifier, fans, and a water heater. The air will be heated and then mixed with water mist so the water will evaporate easily and then mix with the air and become humid air or saturated air. This warm saturated air will streamed into the conditioning chamber which has been filled with arranged fruit with tital capacity 3180 kg. The fruit is heated to reach target temperature 60°C so the pest will annihilated, the enzyme will denaturated, and the water content will be maintained so the fuit quality will be maintained.

By using mass and energy balance analysis, the heat flow required to heat the fruit is 58.47 KW, the air heater power requirement is 113.7kW with air mass flow rate 14.0384 kg/s, the water heater power requirement is 2.8 kW with water mass flow rate 0.02106 kg/s. The energy and mass balace are analyzed when the VHT unit start working.

Keywords: VHT (Vapor Heat Treatment), Fruit Quality

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Subhanallahu Wa Ta'ala yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, saya ucapkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, karena hanya tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Makalah tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan tingkat sarjana di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penyusunan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Sumantri dan Ibu Tintrin Wachjuni yang selalu mendukung penulis dengan memberikan doa, ilmu, motivasi, dan materi selama proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan arahan, ide, wawasan, dan pendidikan yang bermanfaat selama proses penyelesaian tugas akhir ini, sehingga penulis menjadi seorang *engineer* yang lebih beretika, memiliki pola pikir yang kritis, dan baik.
3. Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng., Dr. Bambang Sudarmata, S.T, M.T., Bambang Arip Dwiyanoro, S.T., M.Eng, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan nasihat yang membangun kepada penulis untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTI-ITS, atas bantuan, ilmu, dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Keluarga besar angkatan M-55 yang sering menyemangati, menghibur, membantu, dan memberikan sejarah yang indah bagi penulis selama masa perkuliahan.

6. Teman-teman seperjuangan kuliah dan TA khususnya Raditya Satrio Wibowo, Rizky Akbar Fauzi, Muhammad Ihsan, dan Una Lisabella yang saling tolong-menolong, menyemangati, dan berbagi informasi dalam hal teknis maupun non-teknis dari persiapan seminar, persiapan sidang tugas akhir hingga penyelesaian laporan tugas akhir.
7. Teman-teman Lab. Rekayasa Termal yang telah lulus terlebih dahulu, khususnya Punjung Fathiri, Rizkia Putra, Aqfha Hardhian, Ilman Raufi, Safrida Dyah Hanifah, Yunnida Lutfya yang sering menemani, berbagi ilmu, dan pengalaman selama masa perkuliahan.
8. Dimas Angga Pradiga selaku senior yang telah banyak berbagi ilmu dan pengalaman sehingga pengerjaan tugas akhir ini lebih lancar dalam hal perumusan dan perhitungan.
9. Rekan tunggal satu bimbingan TA, Canny Cado Dwi Putri yang telah banyak menolong pengerjaan tugas akhir dalam hal administrasi dan non-teknis.
10. Carvedium 10 yang kuliah di Surabaya yaitu Indra Denny, Mila Aprilisa Wahid, Satrio Ramadhan yang telah menemani, memberikan akomodasi, dan beberapa bantuan teknis dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
11. Semua pihak yang berpengaruh positif dari awal proses perkuliahan hingga yudisium yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Dengan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan jika di dalam tugas akhir ini terdapat ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Agustus 2017
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

<u>Abstrak</u>	v
<u>Abstract</u>	vii
<u>KATA PENGANTAR</u>	ix
<u>DAFTAR ISI</u>	xi
<u>DAFTAR GAMBAR</u>	xv
<u>DAFTAR TABEL</u>	xvii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Buah-buahan	5
2.1.1 Proses Pematangan Buah	5
2.1.2 Proses Pengolahan Buah Pascapanen	6
2.2 VHT (<i>Vapor Heat Treatment</i>)	7
2.2.1 Analisis <i>Blower</i> dan <i>Fan</i>	8
2.2.1 Analisis <i>Heater</i>	9
2.2.2 Analisis <i>Ejector</i>	10
2.2.3 Analisis Ruang VHT	11
2.3 Perhitungan Beban Pemanasan VHT	13
2.3.2 Beban Pemanasan Produk	15
2.4 <i>Psychrometry</i>	16
2.4.1 RH (<i>Relative Humidity</i>)	17

2.4.2 Specific Humidity	17
2.4.3 Proses Pada <i>Psychrometric Chart</i>	17
<u>2.5 Penelitian Terdahulu</u>	18
2.5.1 Elpodesy Marlisa (2007)	19
2.5.2 Mely Yusra (2008)	21
2.5.3 Aris Setyawan (2008)	22
2.5.4 Tri Noviyanti	24
<u>BAB III</u>	27
<u>METODOLOGI</u>	27
3.1 Sistematika Penelitian	27
3.2 <i>Flowchart</i> Penelitian	27
3.3 Identifikasi dan Observasi Masalah	28
3.4 Studi Literatur	28
3.5 Pengolahan dan Pengumpulan Data	28
3.6 Pemodelan	30
3.6.1 Pemodelan Sistem VHT	30
3.6.2 Pemodelan Ruang VHT	31
3.7 <i>Flowchart</i> Perhitungan	34
3.8 Jadwal Kegiatan	37
<u>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</u>	39
4.1 Estimasi Beban Pemanasan	39
4.1.1 Perhitungan Beban Internal	39
4.1.2 Perhitungan Beban Eksternal	44
4.1.3 Perhitungan Beban Pemanasan Total	45
4.2 Analisis Termodinamika setiap Subsistem	46
4.2.1 Analisis Ruang VHT	48
4.2.2 Analisis <i>Ejector</i>	49
4.2.3 Analisis Pemanas Udara	50
4.2.4 Analisis Pemanas Air	51

<u>4.2.5 Kestimbangan Massa dan Energi Sistem</u>	51
<u>4.4 Pemilihan Komponen</u>	57
<u>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</u>	59
<u>5.1 Kesimpulan</u>	59
<u>5.2 Saran</u>	59
<u>DAFTAR PUSTAKA</u>	61
<u>LAMPIRAN</u>	63
<u>BIODATA PENULIS</u>	75

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

<u>Gambar 2. 1</u> Diagram Alir Proses Pengolahan Buah Pascapanen	6
<u>Gambar 2. 2</u> Komponen Dan Susunan Pada Sistem VHT..	8
<u>Gambar 2. 3</u> Volume Atur <i>Heater</i>	9
<u>Gambar 2. 4</u> Volume Atur pada Sistem <i>Ejector</i>	i
<u>Gambar 2. 5</u> Volume Atur pada Ruang VHT	13
<u>Gambar 2. 6</u> Perpindahan Panas Melalui Dinding Datar.....	i
<u>Gambar 2. 7</u> Proses Perpindahan Panas Pada Buah secara Konveksi Aliran Eksternal	15
<u>Gambar 2. 8</u> Proses Pada Grafik Psikrometri (a) Pemanasan Sensibel (b) Pendinginan Sensibel	i
<u>Gambar 2. 9</u> Proses Pelembaban Udara (a) Volume Atur (b) Penambahan Uap Panas (c) Penambahan Uap Dingin .	18
<u>Gambar 2. 10</u> Grafik Hasil Pengukuran Suhu Terhadap Waktu Pada Alpukat.....	20
<u>Gambar 2. 11</u> Grafik Laju Produksi Etilen Pada Suhu Ruang 10°.....	21
<u>Gambar 2. 12</u> Grafik Perkembangan Suhu Ruang Tanpa Beban.....	i
<u>Gambar 2. 13</u> Skema Unit VHT	i
<u>Gambar 2. 14</u> Grafik Perkembangan Suhu Ruang Dengan Suhu Buah	i
<u>Gambar 2. 15</u> Grafik Aktivitas Relatif Enzim Pada Variasi Temperatur	i
<u>Gambar 3. 1</u> <i>Flowchart</i> Penelitian	27
<u>Gambar 3. 2</u> Siklus Sistem VHT	30
<u>Gambar 3. 3</u> Susunan lapisan dinding VHT	i
<u>Gambar 3. 4</u> Skema a) Susunan Komponen VHT B) Aliran Udara pada Ruang C) Gambar Tampak Samping	33

<u>Gambar 3. 5</u> <i>Flowchart</i> Perhitungan.....	37
---	----

<u>Gambar 4. 1</u> Control Volume pada Ruang VHT	i
---	---

<u>Gambar 4. 2</u> Kondisi Perpindahan Konveksi Eksternal pada <u>Buah</u>	i
--	---

DAFTAR TABEL

<u>Tabel 2. 1 Hasil Pengujian Mortalitas Telur pada Beberapa Variasi Suhu Selama 30 Menit</u>	19
<u>Tabel 2. 2 Hasil Pengujian Mortalitas Telur pada Air Bersuhu 46-46,5°C dengan Beberapa Lama Perendaman</u>	20
<u>Tabel 3. 1 Data material dan kondisi perancangan</u>	28
<u>Tabel 4. 1 Parameter pengondisian buah</u>	40
<u>Tabel 4. 2 <i>Properties</i> Buah dan Udara</u>	41
<u>Tabel 4. 3 Data Ukuran Buah dan Penempatan pada Ruang VHT</u>	43
<u>Tabel 4. 4 Data Properti dan Fluida Kerja pada Setiap Tingkat Kondisi</u>	47
<u>Tabel 4. 5 Data Aliran Energi Pada Seluruh Komponen</u>	52
<u>Tabel 4. 6 Komponen Utama Unit VHT</u>	57

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Buah merupakan salah satu sumber pangan untuk masyarakat yang diproduksi massal di perkebunan. Sebagian buah langsung didistribusikan ke pasar, kemudian dikonsumsi secara langsung oleh konsumen dan sebagian lainnya digunakan untuk bahan pangan yang perlu pengolahan lebih lanjut oleh industri seperti selai, jus, yogurt, dan lain sebagainya. Sebelum diolah lebih lanjut, kualitas buah perlu dipertahankan agar tidak terjadi penurunan kualitas buah pada saat diolah. Kualitas buah dapat dinilai dari warna, aroma, tekstur, kadar air, dan kebersihan dari hama. Warna, aroma, dan tekstur buah sangat dipengaruhi oleh enzim.

Enzim pada buah diproduksi di dalam buah itu sendiri dan sangat mempengaruhi tingkat kematangan buah. Buah yang lebih matang akan lebih cepat membusuk dan tekstur buah juga dapat berubah karena memiliki senyawa kimia yang lebih sederhana. Proses pematangan ini dihindari oleh industri buah karena dapat merubah tekstur. Aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh temperatur. Enzim memiliki temperatur optimum, dimana enzim akan merubah senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana secara cepat. Pada temperatur yang cukup tinggi di atas suhu optimal akan terjadi kerusakan protein enzim yang disebut denaturasi, sehingga terjadi penurunan aktivitas. Vapor Heat Treatment merupakan salah satu cara untuk memanaskan buah menggunakan uap air sehingga terjadi denaturasi pada enzim buah. Denaturasi enzim buah mengakibatkan buah tidak cepat matang dan membusuk, sehingga kualitas buah tidak banyak berubah pada saat pengolahan lebih lanjut atau saat penyimpanan.

Vapor Heat Treatment bekerja dengan cara mensirkulasikan udara lembab yang telah diatur propertinya ke sekeliling buah yang telah ditempatkan dalam suatu kontainer. Properti udara lembab

diatur dengan cara mencampurkan udara dengan uap air dan memanaskan udara lembab tersebut. Udara lembab dengan temperatur yang lebih tinggi akan memberikan kalor ke dalam buah yang memiliki temperatur yang lebih rendah. Udara yang lembab dapat mencegah terjadinya pengurangan kadar air pada buah dan temperatur yang cukup tinggi dapat membunuh hama pada buah dan buah akan mengalami denaturasi enzim.

Penelitian tentang pembunuhan hama dalam buah telah banyak dilakukan. Hallman (1990) dan Miller et al (1991), telah menyarankan bahwa *Vapor Heat Treatment* efektif diaplikasikan pada karambola dan anggur. Bergantung pada ukuran dan jenis buah, perlakuan *vapor heat treatment* pada buah-buahan memiliki kisaran suhu antara 46-47°C (Jacobi et al., 1995; Jacobi and Giles, 1997). Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh Elpodesy Marlisa (2007), perlakuan *vapor heat treatment* selama 20-30 menit dapat mendisinfektasi lalat buah dan tidak menyebabkan penurunan mutu pada mangga gedong gincu selama penyimpanan. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh Tri Noviyanti, aktivitas enzim pada buah akan menurun setelah melebihi temperatur 50°C. Oleh karena itu, diperlukan analisis sistem VHT untuk mengevaluasi mekanisme dan performa alat tersebut agar alat dapat mencapai kriteria yang dibutuhkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang ada pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara mempertahankan kualitas buah
2. Bagaimana cara menganalisis sistem *vapor heat treatment* untuk buah-buahan
3. Bagaimana cara mendistribusikan temperatur dan kelembaban pada udara di sekeliling buah dengan menggunakan sistem *vapor heat treatment*

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Kapasitas termal buah dianggap konstan.
2. Perpindahan panas pada perpipaian tidak diperhitungkan.
3. Fluida kerja menggunakan udara dan uap air yang diperlakukan sebagai gas ideal.
4. Perancangan alat berdasarkan standar ukuran peti kemas TEU 20.
5. Temperatur udara masuk pada ruang pengondisian konstan.
6. Properti pada setiap bagian buah dianggap homogen.
7. Aliran udara pada ruangan dianggap uniform.
8. Perhitungan menggunakan buah apel dengan pendekatan dimensi bola.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui parameter yang dibutuhkan oleh buah yang akan dipertahankan kualitasnya.
2. Mendapatkan desain sistem *Vapor Heat Treatment* dengan analisis termal, kondisi udara, dan aliran fluida.
3. Mengetahui variasi temperatur buah sebagai fungsi waktu dalam proses VHT.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui aplikasi dari ilmu termodinamika dan pengondisian udara serta mengaplikasikannya dalam desain alat *Vapor Heat Treatment*.
2. Mempertahankan kualitas buah pascapanen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Buah-buahan

2.1.1 Proses Pematangan Buah

Berdasarkan proses pematangan, buah terbagi menjadi dua jenis, yaitu *climacteric* dan *non-climacteric*. Buah jenis *climacteric* merupakan buah yang tetap mengalami proses pematangan walaupun buah telah dipetik dari pohon contohnya apel, pisang, mangga, tomat, dan lain-lain. Sedangkan buah *non-climacteric* hanya mengalami proses pematangan saat masih menempel di pohon.

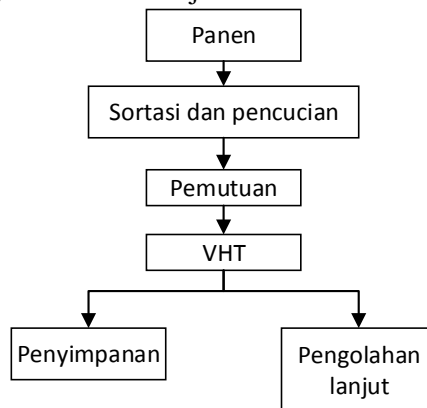
Tingkat kematangan pada buah dapat dinilai dari rasa, warna, aroma, dan tekstur buah. Buah yang telah matang pada umumnya memiliki rasa yang lebih manis, tekstur yang lebih lunak, aroma yang lebih wangi, dan warna yang lebih gelap dibanding buah yang belum matang. Perubahan rasa buah dari masam menjadi manis disebabkan oleh perubahan zat tepung (*starch*) yang berwujud karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana (monosakarida) dengan bantuan enzim amilase. Molekul asam diubah oleh enzim kinase menjadi molekul yang bersifat netral. Tekstur buah yang berubah menjadi lebih lunak disebabkan oleh adanya enzim pectinase yang mengurangi kandungan *pectin* pada dinding sel buah. Aroma buah yang semakin wangi disebabkan oleh adanya enzim *hydrolase* yang mengubah senyawa organik dalam buah menjadi senyawa aromatik yang mudah menguap ke udara.

Pada umumnya, kinerja enzim dipengaruhi oleh suhu. Enzim dapat bekerja pada suhu antara 25°C hingga 60°C. Pada suhu di bawah 25°C aktivitas enzim akan berkurang namun tidak merusak struktur enzim atau tidak terjadi denaturasi. Kinerja enzim akan meningkat kembali jika temperatur dikembalikan ke kondisi kerja. Pada suhu di atas 60°C aktivitas enzim akan berkurang dan

pada suhu di atas 60°C enzim akan mengalami kerusakan atau terjadi denaturasi. Denaturasi menyebabkan enzim tidak dapat bekerja kembali walaupun temperatur enzim dikembalikan ke temperatur kerja.

2.1.2 Proses Pengolahan Buah Pascapanen

Untuk mempertahankan kualitas buah-buahan setelah dipanen, buah-buahan perlu diolah melalui beberapa proses. Gambar 2.1 menunjukkan urutan proses pengolahan buah pascapanen. Setelah dipanen, buah perlu disortir untuk memisahkan buah yang layak dan tidak layak untuk dipasarkan. agar sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan pemerintah atau pasar. Setelah disortir, buah-buahan perlu dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan air untuk membersihkan kotoran yang masih menempel pada permukaan kulit buah seperti getah, tanah, debu, atau kotoran lainnya. Setelah dicuci, buah dipisahkan berdasarkan mutunya agar dapat memenuhi persyaratan seperti berat, ukuran, dan tingkat kematangan. Kemudian buah dikenakan perlakuan panas supaya buah terhindar dari penyakit dan enzim akan berkurang aktivitasnya. Setelah itu, buah-buahan disimpan atau langsung diolah lebih lanjut.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pengolahan Buah Pascapanen

2.2 VHT (*Vapor Heat Treatment*)

VHT adalah salah satu alat yang digunakan untuk mempertahankan kualitas buah dengan cara mengatur temperatur buah menggunakan udara lembab yang memiliki temperatur tertentu. Uap air dikondisikan agar tidak terjadi perpindahan massa air dari buah ke udara yang memiliki temperatur tinggi, sehingga buah tidak menjadi kering.

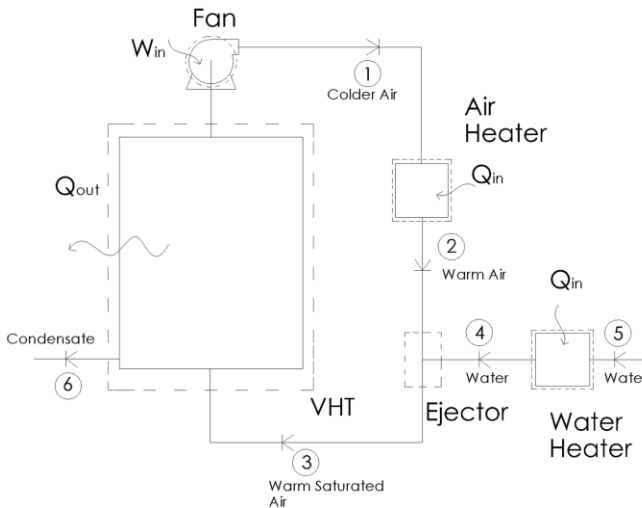
Gambar 2.2 menunjukkan sistem secara keseluruhan dan volume atur sistem, udara disirkulasikan menggunakan *blower* kemudian dicampur dengan air yang berasal dari bejana air yang telah dipanaskan menggunakan pemanas listrik. Pencampuran udara kering dengan uap air dilakukan menggunakan *ejector*. Udara lembab yang berasal dari *ejector* dialirkan ke VHT untuk dipindahkan panasnya ke buah yang telah diletakkan di dalam VHT. Analisis sistem VHT ini dilakukan dengan cara menganalisis setiap komponen yang berhubungan dengan kesetimbangan massa dan energi.

Untuk menganalisis sistem secara keseluruhan, digunakan persamaan kesetimbangan energi antara sistem dan lingkungan dan volume atur.

$$\sum Q_{in} - \sum Q_{out} + \sum W_{in} - \sum W_{out} = 0 \quad (2.1)$$

Pada sistem VHT seperti pada gambar 2.2, kalor yang masuk ke sistem berasal dari pemanas udara dan pemanas air. Kalor yang dilepas dari sistem diterima oleh produk dan udara pada lingkungan pada alat VHT. Sistem ini tidak menghasilkan kerja, maka W_{out} tidak ada. Pada sistem ini, komponen yang membutuhkan daya adalah *blower* atau *fan*, namun kinerjanya tidak mempengaruhi properti fluida kerja, maka W_{in} dianggap tidak ada. Dengan kondisi tersebut, persamaan bisa disubstitusi menjadi persamaan.

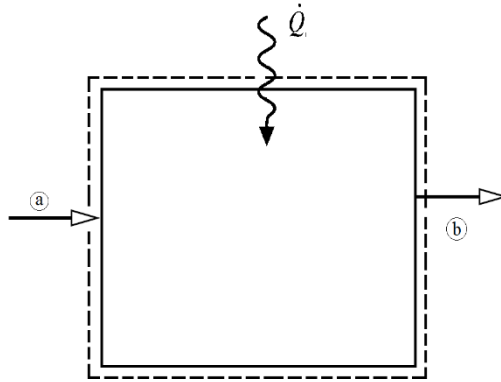
$$Q_{\text{water heater}} + Q_{\text{air heater}} - Q_{\text{product}} - Q_{\text{wall}} = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_5 h_5 \quad (2.2)$$



Gambar 2. 2 Komponen Dan Susunan Pada Sistem VHT

2.2.1 Analisis *Blower* dan *Fan*

Blower atau *fan* digunakan untuk mengatur aliran udara agar terjadi sirkulasi pada sistem VHT. Dalam kerjanya, *blower* membutuhkan kerja yang berasal dari luar sistem. Pada kondisi ideal, *blower* bekerja secara adiabatik. *Blower* mengalirkan udara dengan meningkatkan tekanan udara, namun tekanan yang ditingkatkan tidak terlalu signifikan, sehingga entalpi fluida kerja tidak berubah secara signifikan. Jika pengaruh perubahan energi potensial dan energi kinetik diabaikan, maka properti fluida kerja tidak berubah. Oleh karena itu, spesifikasi *blower* yang perlu digunakan untuk perhitungan sistem VHT adalah laju alir volume atau laju alir massa yang dapat dialirkan oleh *blower*.



Gambar 2. 3 Volume Atur *Heater*

2.2.1 Analisis *Heater*

Heater digunakan untuk meningkatkan temperatur fluida kerja. Gambar 2.3 merupakan volume atur pada *heater*. Untuk *water heater* tingkat kondisi (a) sama dengan tingkat kondisi 5 dan (b) sama dengan tingkat kondisi 4. Untuk *air heater* tingkat kondisi (a) sama dengan tingkat kondisi 1 dan (b) sama dengan tingkat kondisi 2.

Water Heater digunakan untuk meningkatkan temperatur air yang akan dicampurkan dengan udara. Dengan mengabaikan pengaruh energi kinetik dan potensial, kalor *heater* yang diserap air pada kondisi tunak dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$\dot{Q}_{water\ heater} = \dot{m}_w c_{pw} (T_4 - T_5) \quad (2.4)$$

Air Heater digunakan untuk memanaskan udara. Untuk menganalisis kesetimbangan energi pada *air heater* digunakan persamaan 2.5.

$$\dot{Q}_{air\ heater} = \dot{m}_a [c_{pa}(T_2 - T_1) + \omega(h_{g2} - h_{g1})] \quad (2.5)$$

dengan: \dot{m}_w = Laju alir massa air (kg/s)
 \dot{m}_a = Laju alir massa udara kering (kg/s)
 c_p = *Specific heat capacity* (kJ/kg K)
 h_g = Entalpi uap air (kJ/kg)

2.2.2 Analisis *Ejector*

Ejector digunakan untuk mencampur udara yang berasal dari *blower* dengan air yang berasal dari *water heater*. Gambar 2.4 menunjukkan aliran keluar dan masuk pada volume atur sistem.

Sistem ini bekerja seperti *nozzle*, tidak ada aliran kalor dan kerja yang keluar atau masuk. Kesetimbangan massa pada sistem yang bekerja tunak dapat dihitung dengan persamaan 2.7.

$$\dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3} \quad (\text{dry air}) \quad (2.6)$$

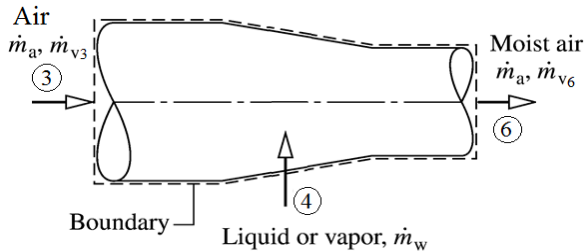
$$\dot{m}_{v2} + \dot{m}_{w4} = \dot{m}_{v3} \quad (\text{water}) \quad (2.7)$$

Dengan rasio kelembaban $\omega = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a}$, maka persamaan laju alir massa dapat ditunjukkan dengan persamaan 2.8.

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (\omega_3 - \omega_2) \quad (\text{water}) \quad (2.8)$$

Dari tiga persamaan diatas, kesetimbangan massa secara keseluruhan adalah

$$\dot{m}_a + \dot{m}_{v2} = \dot{m}_a (\omega_3 - \omega_2) + \dot{m}_a + \dot{m}_{v3} \quad (2.9)$$



Gambar 2. 4 Volume Atur pada Sistem *Ejector*

Dengan tidak adanya aliran kalor dan kerja pada sistem, dan tidak ada pengaruh dari energi potensial dan energi kinetik, maka persamaan kesetimbangan energi menjadi

$$(\dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2}) + \dot{m}_w h_w = (\dot{m}_{a3} h_{a3} + \dot{m}_{v3} h_{v3}) \quad (2.10)$$

Dalam sistem ini, udara dianggap sebagai gas ideal. Jika persamaan energi 2.10 dihubungkan dengan persamaan kesetimbangan massa dan rasio kelembaban, persamaan energi menjadi

$$\begin{aligned} \dot{m}_a(h_{a2} + \omega_2 h_{g2}) + \dot{m}_w h_{g4} &= \dot{m}_a(h_{a3} + \omega_3 h_{g3}) \\ \dot{m}_a[(h_{a2} - h_{a3}) + \omega_2 h_{g2} + (\omega_3 - \omega_2)h_w - \omega_3 h_{g3}] &= 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Jika perbedaan temperatur dianggap kecil, sehingga perubahan properti udara tidak signifikan, maka udara pada sistem dapat dievaluasi dengan persamaan 2.12

$$h_{a3} - h_{a2} = c_{pa}(T_3 - T_2) \quad (2.12)$$

Sehingga persamaan 2.12 dapat disubstitusi dengan persamaan 2.13

$$0 = \dot{m}_a[c_{pa}(T_3 - T_2) + \omega_2 h_{g2} + (\omega_3 - \omega_2)h_w - \omega_3 h_{g3}] \quad (2.13)$$

2.2.3 Analisis Ruang VHT

VHT merupakan tempat pertukaran panas antara udara lembab dan buah secara langsung. Udara lembab yang telah dikondisikan dialirkan dan didistribusikan di dalam VHT. Untuk menganalisis VHT, digunakan persamaan kesetimbangan massa dan energi dengan mengabaikan pengaruh energi potensial dan kinetik. Analisis kesetimbangan massa dapat menggunakan

persamaan 2.6 hingga 2.9. Kestimbangan energi dapat diperoleh dari persamaan 2.14.

$$\dot{Q}_{cv} = \dot{m}_a [c_{pa}(T_3 - T_1) + \omega_3 h_{g3} - \dot{m}_w h_{f6} - \omega_1 h_{g1}] \quad (2.14)$$

Aliran kalor pada persamaan 2.14 bernilai negatif jika ada di ruas kanan karena energi termal pada aliran 3 (udara lembab yang panas) keluar dari sistem karena temperatur lingkungan dan buah lebih rendah.

Buah dikondisikan agar tidak terjadi perpindahan massa air dari buah ke udara namun ada kemungkinan uap air pada udara akan terkondensasi. Sehingga perubahan *absolute humidity* pada ruang VHT dapat menentukan jumlah kadar air yang ada pada volume atur. Sehingga persamaan 2.14 dapat disederhanakan menjadi persamaan 2.15.

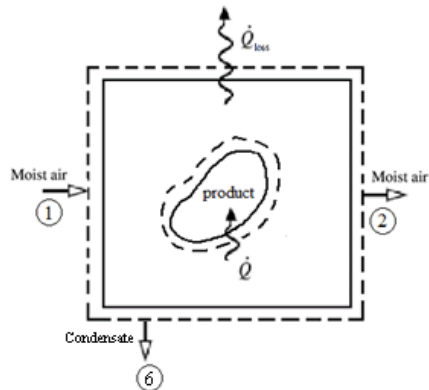
$$\dot{Q}_{cv} = \dot{m}_a [c_{pa}(T_3 - T_1) + \omega_3 h_{g3} - (\omega_3 - \omega_1) h_{f6} - \omega_1 h_{g1}] \quad (2.15)$$

Perpindahan massa pada buah dapat dianalisis dengan persamaan 2.16.

$$n_A = h_m A_s (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \quad (2.16)$$

Dengan :

- ω : *Absolute humidity* (kg water / kg dry air)
- n_A : Perpindahan massa air (kg/s)
- h_m : Koefisien konveksi perpindahan massa (W/m² K)
- $\rho_{A,s}$: Massa jenis uap air pada permukaan buah (kg/m³)
- $\rho_{A,\infty}$: Massa jenis uap air pada udara lembab (kg/m³)



Gambar 2. 5 Volume Atur pada Ruang VHT

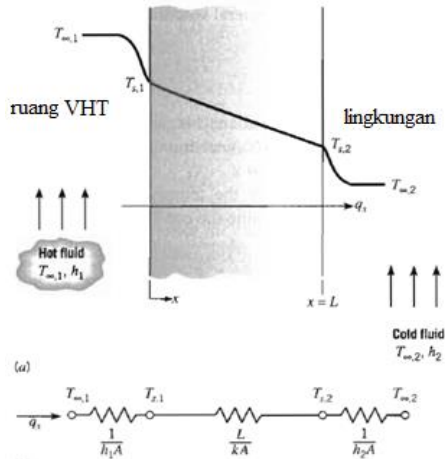
Untuk meniadakan perpindahan massa air antara udara lembab dan air pada buah ($n_A = 0$), maka massa jenis uap air pada udara lembab harus dikondisikan sama seperti massa jenis uap air pada permukaan buah ($\rho_{A,s} = \rho_{A,\infty}$).

2.3 Perhitungan Beban Pemanasan VHT

VHT digunakan untuk meningkatkan temperatur buah dengan rentang temperatur 40°C hingga 100°C. Oleh karena itu, ada kemungkinan adanya kalor yang berpindah dari sistem ke lingkungan. Kalor yang hilang ini sangat berpengaruh terhadap beban pemanasan pada sistem. Semakin rendah temperatur lingkungan, maka beban pendinginan semakin besar. Beban pemanasan juga dipengaruhi oleh kondisi produk atau buah. Berikut analisis yang dilakukan untuk memperhitungkan beban termal.

2.3.1 Beban Pendinginan Struktural

Pada sistem ini, beban pendinginan struktural merupakan beban pendinginan yang disebabkan oleh hilangnya kalor dari sistem ke lingkungan melewati dinding-dinding VHT. Dengan menganggap dinding-dinding VHT sebagai dinding datar dengan ketebalan tertentu dan udara luar memiliki temperatur yang lebih



Gambar 2. 6 Perpindahan Panas Melalui Dinding Datar

rendah dibanding udara lembab yang berada di dalam, maka akan ada panas yang berpindah secara konduksi, konveksi, infiltrasi, dan radiasi. Namun VHT pada kondisi kerjanya dikondisikan tertutup rapat dan dinding tidak tembus cahaya, sehingga perpindahan kalor secara infiltrasi dan radiasi dapat diabaikan.

Dari gambar 2.6, koefisien perpindahan panas keseluruhan yang ada pada dinding VHT dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.16,

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (2.16)$$

Dengan : U = Overall heat transfer coefficient (W/m² K)

h = Koefisien konveksi (W/m² K)

k = Koefisien konduksi (W/m K)

L = Tebal dinding (m)

Kemudian, *heat loss* yang terjadi pada dinding VHT dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.17,

$$q_x = UA (T_{\infty,1} - T_{\infty,2}) \quad (2.17)$$

2.3.2 Beban Pemanasan Produk

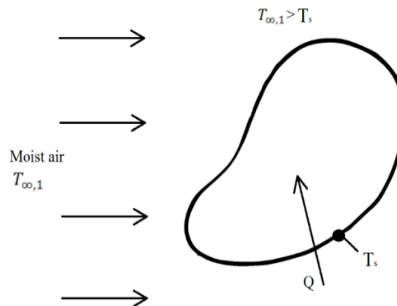
Beban pemanasan produk dipengaruhi oleh kalor yang dibutuhkan untuk meningkatkan temperatur produk dari kondisi awal ke kondisi akhir.

Pada kondisi awal pemanasan, temperatur buah dianggap sama seperti temperatur lingkungan di luar sistem VHT ($T_{s,0} = T_{\infty,2}$). Pemanasan berlangsung secara *transient* hingga temperatur buah mencapai temperatur target pengondisian.

Analisis perpindahan panas konveksi eksternal dilakukan dengan pendekatan dimensi buah sebagai bola. Sehingga bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan persamaan 2.19:

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.19)$$

Setelah mendapatkan bilangan Reynolds, maka koefisien konveksi dapat dihitung dengan persamaan bilangan *Nusselt*:



Gambar 2. 7 Proses Perpindahan Panas Pada Buah secara Konveksi Aliran Eksternal

$$Nu_D = \frac{hD}{k_f} = 2 + \left(0.4Re_D^{0.5} + 0.06Re_D^{\frac{2}{3}}\right) Pr^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0.25} \quad (2.20)$$

Dengan adanya koefisien konveksi, maka perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung dengan persamaan 2.19

$$Q_{conv} = hA(T_{\infty,1} - T_s) \quad (2.21)$$

Untuk waktu pemanasan produk, dibutuhkan analisis perpindahan panas secara *transient*, persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.22 hingga 2.24.

$$Bi = \frac{h_D D}{k_f} \quad (2.22)$$

$$\frac{T_0 - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = C_1 \exp(-\xi_1^2 Fo) \quad (2.23)$$

$$Fo = \frac{\alpha t}{L_c^2} \quad (2.24)$$

dengan:	Bi	=	Bilangan	biott
	D	=	Diameter	buah (m)
	ρ	=	Massa jenis	udara (kg/m ³)
	V	=	Kecepatan airan	(m/s)
	μ	=	Viskositas kinematis	(N.s/m ²)
	k_f	=	Koefisien konveksi fluida	(W/m.K)
	Fo	=	Bilangan fourier	
	L_c	=	Panjang karakteristik	(m)

2.4 Psychrometry

Grafik psikrometri digunakan untuk menentukan tingkat kelembaban pada udara. Udara lembab merupakan campuran antara udara kering dan uap air. Udara kering merupakan campuran dari beberapa gas, sebagian besar kandungannya adalah nitrogen dan oksigen.

2.4.1 RH (Relative Humidity)

Relative Humidity (ϕ) menunjukkan perbandingan antara tekanan parsial aktual dan tekanan parsial air jenuh pada temperatur yang sama. RH juga dapat didefinisikan sebagai rasio fraksi mol uap air pada udara dengan fraksi mol uap air jenuh pada tekanan dan temperatur yang sama, sehingga RH dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\phi = \frac{p_v}{p_g} \bigg|_{T,P} = \frac{y_v}{y_{v,sat}} \bigg|_{T,P} \quad (2.25)$$

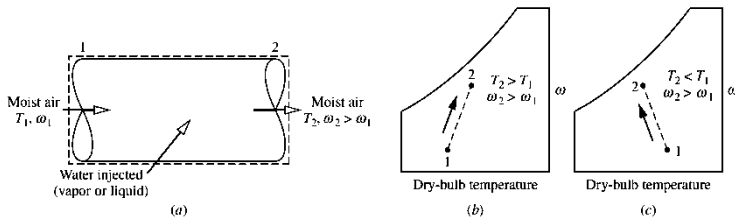
2.4.2 Specific Humidity

Specific humidity (ω) dapat diartikan sebagai perbandingan antara massa uap air pada udara dengan massa udara kering, sehingga *specific humidity* dapat ditunjukkan dengan persamaan 2.26.

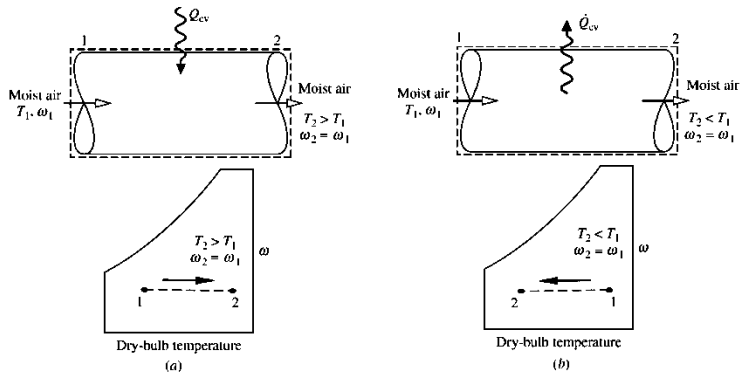
$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (2.26)$$

2.4.3 Proses Pada Psychrometric Chart

Pada sistem VHT, udara dikondisikan untuk memenuhi kebutuhan buah. Pengondisian udara pada sistem VHT terdiri dari beberapa proses.



Gambar 2. 8 Proses Pada Grafik Psikrometri (a) Pemanasan Sensibel (b) Pendinginan Sensibel



Gambar 2. 9 Proses Pelembaban Udara (a) Volume Atur (b) Penambahan Uap Panas (c) Penambahan Uap Dingin

2.4.3.1 Humidification

Proses pelembaban udara terjadi pada *ejector* dengan mencampurkan udara dengan uap air, sehingga menghasilkan udara yang memiliki kelembaban yang lebih tinggi. Proses pelembaban udara pada grafik psikrometri dapat ditunjukkan pada gambar 2.8. Proses pada gambar 2.8 berlaku selama tidak ada aliran energi yang keluar atau masuk pada sistem.

2.4.3.2 Pemanasan dan Pendinginan Sensibel

Proses pemanasan atau pendinginan sensibel terjadi ketika temperatur udara berubah tanpa adanya penambahan atau pengurangan kadar air pada udara, sehingga tingkat kondisi keluar dan masuk memiliki nilai ω yang sama. Hal ini dikarenakan adanya aliran energi yang keluar atau masuk pada sistem. Proses pemanasan dan pendinginan sensibel pada grafik psikrometri dapat ditunjukkan pada gambar 2.9.

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang penggunaan VHT untuk buah sudah pernah dilakukan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui

pengaruh penggunaan VHT terhadap pengurangan jumlah telur serangga dan kondisi buah.

2.5.1 Elpodesy Marlisa (2007)

Penelitian Elpodesy Marlisa yang berjudul “Kajian Disinfestasi Lalat Buah dengan Perlakuan Uap Panas (*Vapor Heat Treatment*) pada Mangga Gedong Gincu” dapat dijadikan suatu pertimbangan pada perancangan unit VHT. Penelitian tersebut dilakukan dengan cara menggunakan VHT pada mangga dengan rentang waktu 30 menit menggunakan variasi temperatur VHT 40, 43, 46, dan 49 °C. Kemudian percobaan diulang dengan temperatur 46,5°C dengan variasi rentang waktu 0, 10, 20, dan 30 menit setelah suhu pusat mangga gedong mencapai suhu 46°C. Setelah dipanaskan dengan uap, mangga didinginkan dengan air mengalir hingga temperatur kembali normal. Kemudian mangga dikeringkan menggunakan udara mengalir.

Berikut merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Elpodesy Marlisa.

Tabel 2. 1 Hasil Pengujian Mortalitas Telur pada Beberapa Variasi Suhu Selama 30 Menit

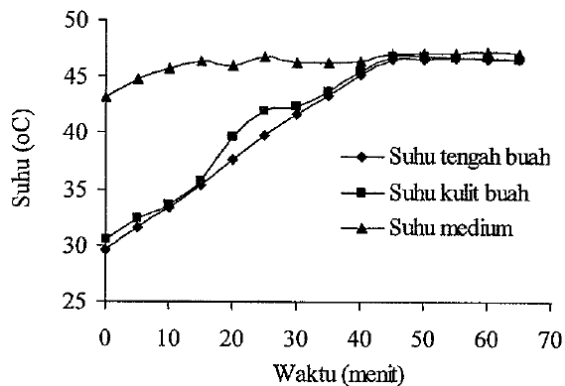
Suhu (°C)	Jumlah Telur (butir)	Hidup (ekor)	Mati (ekor)
Kontrol	20	20	0
40	20	3	17
43	20	0	20
46	20	0	20
49	20	0	20

Tabel 2.2 menunjukkan hasil percobaan dengan waktu pemanasan selama 30 menit. Telur sepenuhnya mati pada temperatur 43°C atau lebih tinggi.

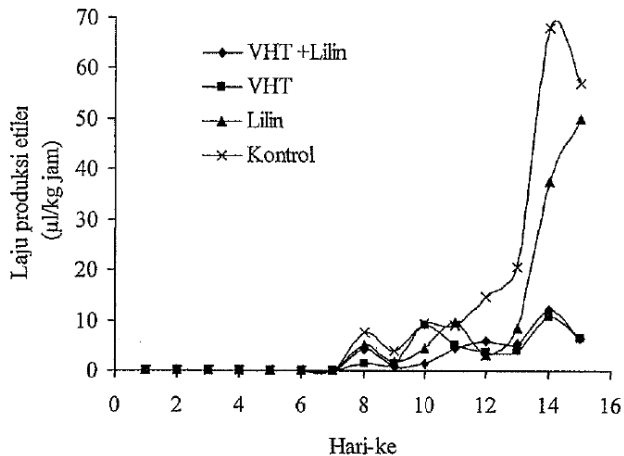
Tabel 2. 2 Hasil Pengujian Mortalitas Telur pada Air Bersuhu 46-46,5°C dengan Beberapa Lama Perendaman

Waktu (menit)	Jumlah Telur (butir)	Hidup (ekor)	Mati (ekor)
0	20	20	0
5	20	5	15
10	20	0	20
15	20	0	20
20	20	0	20
25	20	0	20
30	20	0	20

Tabel 2.3 menunjukkan hasil percobaan dengan temperatur 46°C telur sepenuhnya mati pada waktu 10 menit atau lebih lama, sehingga dapat disimpulkan temperatur 46°C merupakan temperatur minimum untuk membunuh telur pada buah.



Gambar 2. 10 Grafik Hasil Pengukuran Suhu Terhadap Waktu Pada Alpukat



Gambar 2. 11 Grafik Laju Produksi Etilen Pada Suhu Ruang 10°

2.5.2 Mely Yusra (2008)

Penelitian terdahulu yang dapat menjadi pertimbangan dalam perhitungan unit VHT ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Mely Yusra dengan judul “Pengaruh Perlakuan Uap Panas (*Vapor Heat Treatment*) dan Penelitian Terhadap Laju Respirasi dan Produksi Etilen Pada Buah”. Penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan perlakuan panas pada alpukat dengan metode VHT dengan temperatur 47°C selama 20 menit dan tanpa perlakuan panas, kemudian buah dikeringkan dengan angin, kemudian dilapisi lilin, dan disimpan pada suhu dingin (10 – 18°C, RH 80 - 90%) dengan mengamati respirasi dan laju produksi etilen.

Gambar 2.10 menunjukkan temperatur awal kulit buah saat dimasukkan ke dalam VHT pada menit ke-0 yaitu 30,5°C dan temperatur tengah buah lebih rendah yaitu 29,6°C.

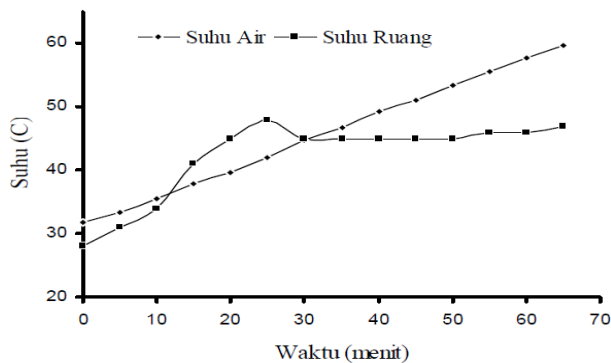
Perlakuan panas dengan metode VHT dapat mencapai temperatur tengah buah 46,5°C selama 45 menit dengan temperatur medium 47°C. Gambar 2.11 menunjukkan laju produksi etilen pada buah yang diberi perlakuan yang berbeda saat disimpan pada temperatur ruang 10°C. Buah yang diberi perlakuan panas

menggunakan VHT memiliki laju produksi etilen yang lebih rendah dibandingkan dengan buah yang tidak diberikan perlakuan panas.

2.5.3 Aris Setyawan (2008)

Penelitian yang dilakukan oleh Aris Setyawan berjudul “Rancang Bangun dan Uji Performansi Unit VHT (*Vapor Heat Treatment*) untuk Penanganan Pascapanen” dijadikan salah satu pertimbangan dalam perancangan unit VHT. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat unit VHT dengan kapasitas 144kg buah pepaya. Setelah membuat unit VHT, performa alat diuji tanpa beban dan dengan beban. Kemudian buah yang telah diberi perlakuan panas disimpan dengan variasi temperatur 13°C dan 28°C. Pengamatan pada buah dilakukan secara berkala setelah buah disimpan.

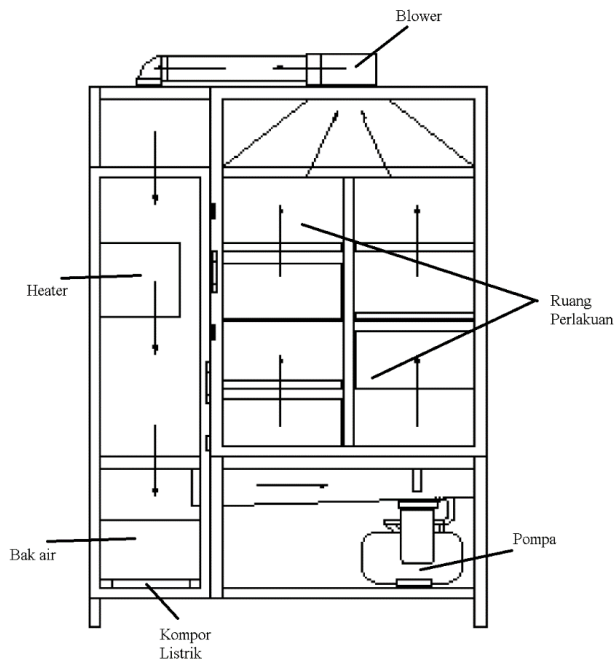
Unit VHT yang ditunjukkan pada gambar 2.13 terdiri dari beberapa komponen. Rangka yang berukuran panjang 140 cm, lebar 70 cm, dan tinggi 190 cm digunakan untuk menopang struktur. Bak air digunakan untuk menampung air yang akan dipanaskan oleh kompor. Filter air digunakan untuk menyaring air yang dialirkan oleh pompa, sehingga air yang disirkulasikan tetap bersih. Pompa digunakan untuk menyalurkan air panas dari koil pemanas ke ruang perlakuan dengan melewati filter. Kompor



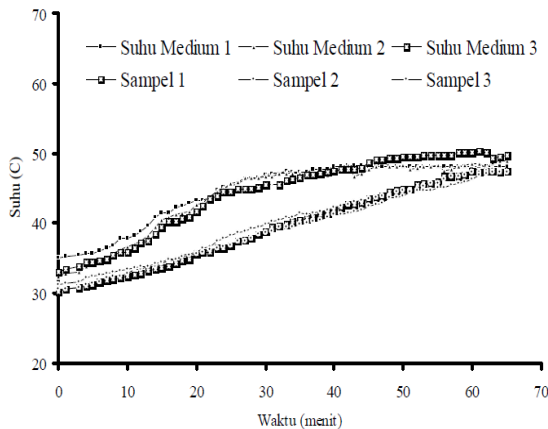
Gambar 2. 12 Grafik Perkembangan Suhu Ruang Tanpa

digunakan untuk memanaskan air yang ditampung di dalam bak hingga suhu mencapai 47°C . *Heater* udara berfungsi untuk meningkatkan suhu pada unit penghasil uap yang akan disirkulasikan oleh blower menuju ruang perlakuan. Komponen-komponen tersebut diatur dengan menggunakan unit kontrol otomatis yang berfungsi untuk mengontrol suhu air, kecepatan aliran air, dan kecepatan penyemprotan nozzle.

Gambar 2.12 menunjukkan grafik peningkatan temperatur ruang dan air saat tanpa beban selama 65 menit. Temperatur akhir ruang mencapai 45°C setelah 30 menit kemudian sedikit meningkat secara perlahan hingga 46°C setelah 65 menit.



Gambar 2. 13 Skema Unit VHT



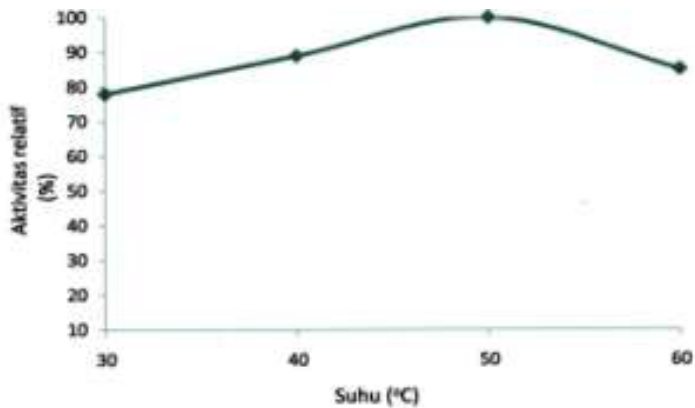
Gambar 2. 14 Grafik Perkembangan Suhu Ruang Dengan Suhu Buah

Gambar 2.14 menunjukkan grafik perbandingan peningkatan temperatur buah dengan ruangan selama 65 menit. Temperatur buah selalu lebih rendah dibanding medium dengan temperatur awal 30°C yang meningkat relatif konstan hingga 50°C.

Dari hasil pengamatan buah saat penyimpanan selama 7 hari didapatkan kesimpulan yaitu susut bobot pada buah yang diberi perlakuan panas lebih kecil dibanding buah yang tidak diberi perlakuan panas, penurunan kadar air tidak terlalu signifikan.

2.5.4 Tri Noviyanti

Penelitian Tri Noviyanti dengan judul “Pengaruh Temperatur Terhadap Aktivasi Enzim Protease dari Daun Sansakng” menjadi salah satu pertimbangan dalam perancangan sistem VHT. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil ekstrak enzim protease dari daun, kemudian aktivitas enzim tersebut diukur pada variasi temperatur inkubasi 30 - 60°C.



Gambar 2. 15 Grafik Aktivitas Relatif Enzim Pada Variasi Temperatur

Gambar 2.15 menunjukkan bahwa aktivasi enzim akan menurun setelah temperatur melebihi temperatur optimumnya 50°C, hal ini dikarenakan sebagian protein pada enzim telah mengalami kerusakan atau terdenaturasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

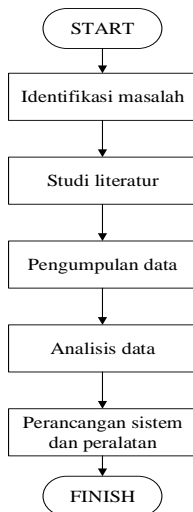
METODOLOGI

3.1 Sistematika Penelitian

Evaluasi VHT (*Vapor Heat Treatment*) ini dilakukan dengan menggunakan analisis termodinamika, perpindahan panas, dan perpindahan massa. Analisis penelitian mesin VHT ini meliputi dimensi VHT, tingkat keadaan pada sistem, komponen penyusun, dan spesifikasi komponen yang dibutuhkan.

Tingkat keadaan fluida kerja yang dirancang pada setiap komponen meliputi temperatur, kelembaban, laju alir massa udara, dan laju alir massa H_2O . Perubahan tingkat kondisi ditinjau berdasarkan kondisi awal *heat treatment* ($T_{s,0} = T_{\infty,2}$) dan kondisi akhir *heat treatment* ($T_{s,1} = T_{\infty,1}$).

3.2 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

3.3 Identifikasi dan Observasi Masalah

Pada penelitian ini, hal yang pertama kali dilakukan adalah menentukan permasalahan yang akan diselesaikan, yaitu bagaimana cara meningkatkan temperatur buah tanpa terjadi perubahan kadar air pada buah. Kemudian dilakukan observasi masalah untuk mengetahui parameter yang dibutuhkan seperti batas temperatur buah dan kondisi lingkungan.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur diperoleh dari buku, jurnal, dan *website*. Studi literatur digunakan untuk menentukan langkah-langkah dan metode yang dilakukan dalam perhitungan saat mengolah data, seperti perumusan kesetimbangan energi, data material, dan proses perubahan kondisi buah.

3.5 Pengolahan dan Pengumpulan Data

Dari hasil studi literatur, maka diperoleh data untuk evaluasi. Data yang digunakan berasal dari buku, data statistik, dan standar. Tabel 3.1 menunjukkan data awal berdasarkan kondisi produksi, toleransi produk, dan lingkungan

Tabel 3. 1 Data material dan kondisi perancangan

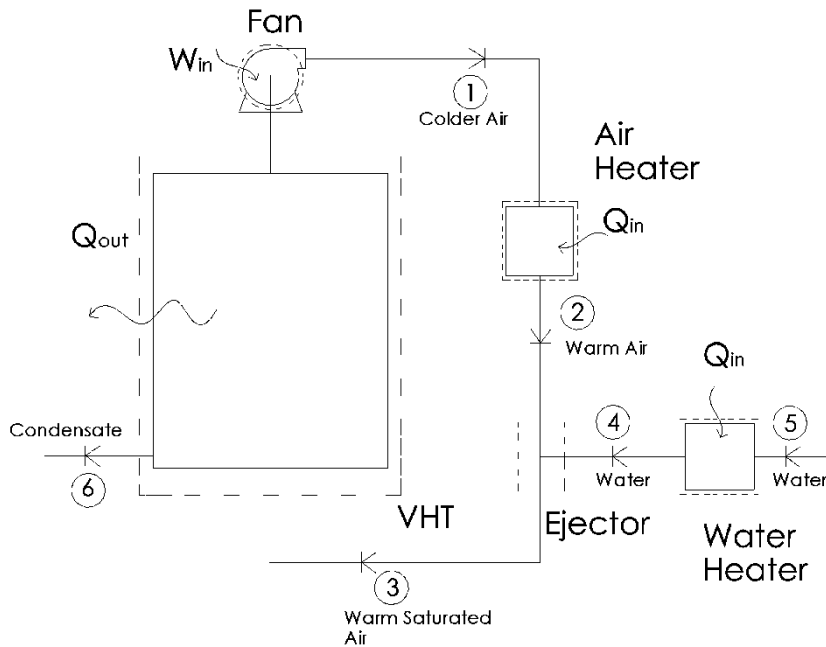
No	Parameter	Besar	Satuan	Sumber
1	Dimensi VHT			
	Panjang	5.92	m	TEU1 (Twenty-foot Equivalent Unit)
	Lebar	2.34	m	
	Tinggi	2.38	m	
2	Kondisi Lingkungan dan Pengondisian			
	Temperatur udara lingkungan	30	°C	Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan
	Kelembaban udara lingkungan	60	%	

				Gedung (hangat nyaman ambang batas)
	Temperatur <i>make-up water</i>	30	°C	Temperatur air dianggap sama dengan udara lingkungan
	Temperatur ruang pengondisian VHT	65	°C	Temperatur kerja enzim
	Kelembaban relatif ruang VHT	100	%	Kondisi udara jenuh
3	Lapisan Tahanan Termal Ruang VHT			
	Dinding			
	Cement Plaster 16mm	0.04448	m ² .K/W	Thermal resistace of selected building materials at 24°C mean temperature
	Mineral Fiber 80mm	0.32	m ² .K/W	
	Aluminum 10mm	0.675	m ² .K/W	
	Outside surface still air (side)	3.86	m ² .K/W	ASHRAE coefficient of transmission of frame construction walls
4	Objek pemanasan: buah apel Pendekatan bentuk bola dengan D=8cm			

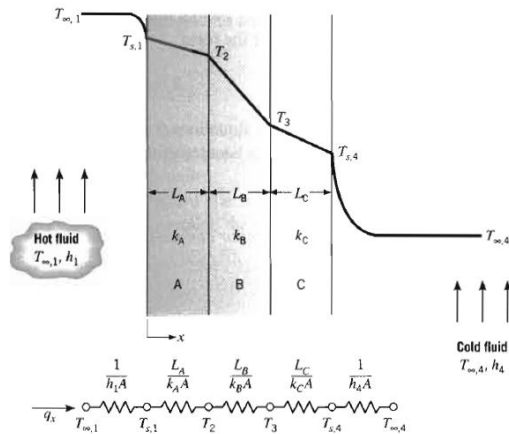
3.6 Pemodelan

3.6.1 Pemodelan Sistem VHT

Sistem VHT ini menggunakan sirkulasi udara yang telah dikondisikan temperatur dan kelembabannya dengan cara mencampurkan air dan udara menggunakan *ejector*, kemudian udara lembab tersebut dipanaskan menggunakan *heater* hingga mencapai temperatur yang diperlukan. Udara yang lebih lembab dipanaskan lagi sebelum disalurkan di ruang VHT seperti di dalam gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Siklus Sistem VHT



Gambar 3.3 Susunan lapisan dinding VHT

3.6.2 Pemodelan Ruang VHT

Pemodelan ruang VHT terdiri atas beberapa bagian, yaitu lapisan dinding VHT dan susunan dalam pada ruang VHT. Lapisan dinding VHT meliputi penentuan material dinding, tebal dinding, dan susunan material. Susunan dalam VHT meliputi penempatan objek pemanasan dan arah aliran udara lembab. Berikut merupakan pemodelan lapisan ruang VHT:

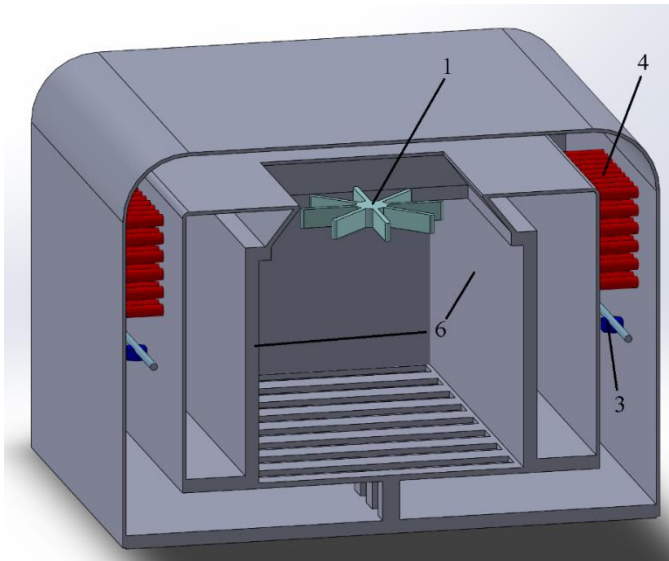
Keterangan:

A : lapisan dinding dalam, *cement plaster* 16mm

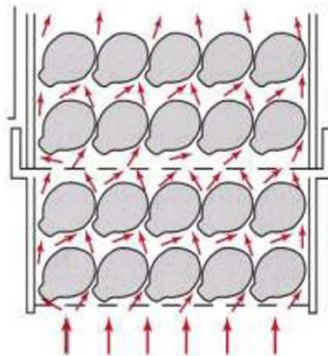
B : isolator dinding, *Loose fill, mineral fiber* 80mm

C : lapisan dinding luar, *aluminium* 16mm

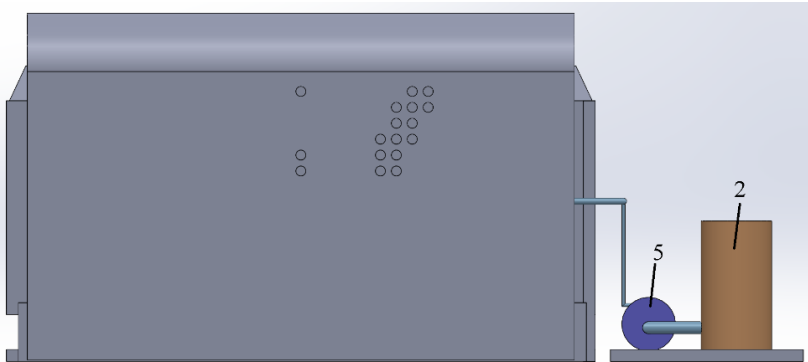
Berikut merupakan pemodelan ruang VHT:



a)



b)



c)

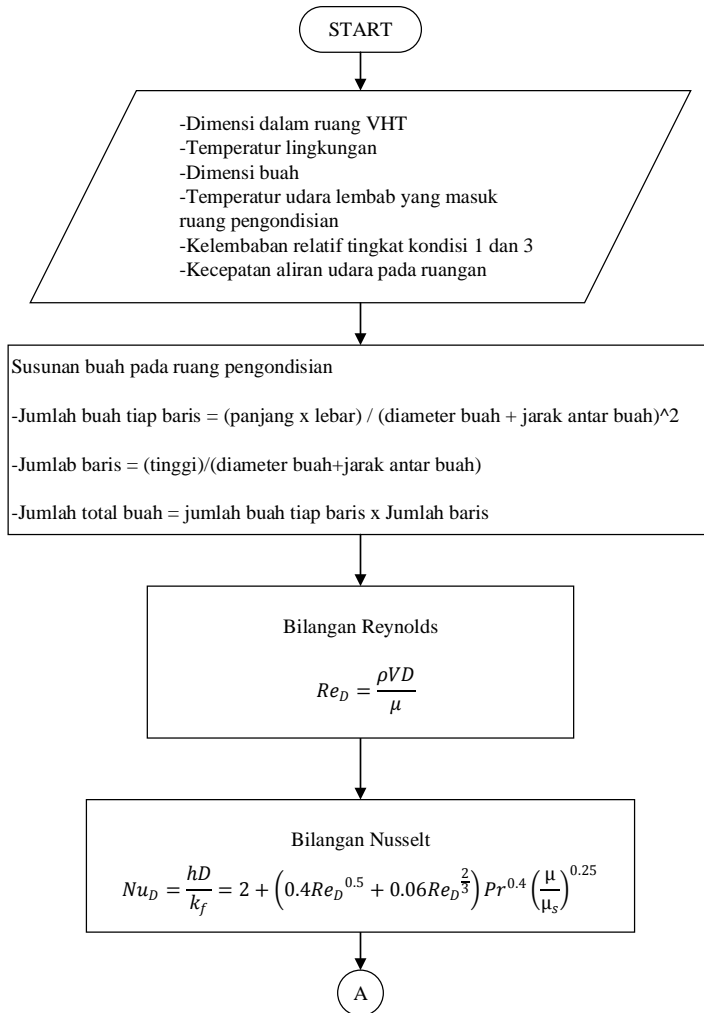
Gambar 3. 4 Skema a) Susunan Komponen VHT B) Aliran Udara pada Ruang C) Gambar Tampak Samping

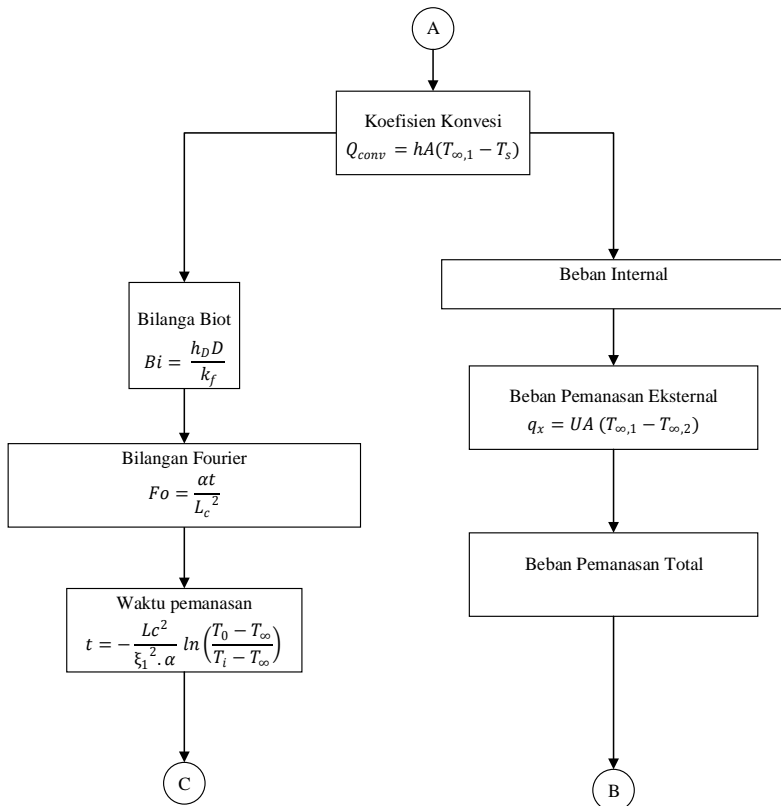
Keterangan gambar:

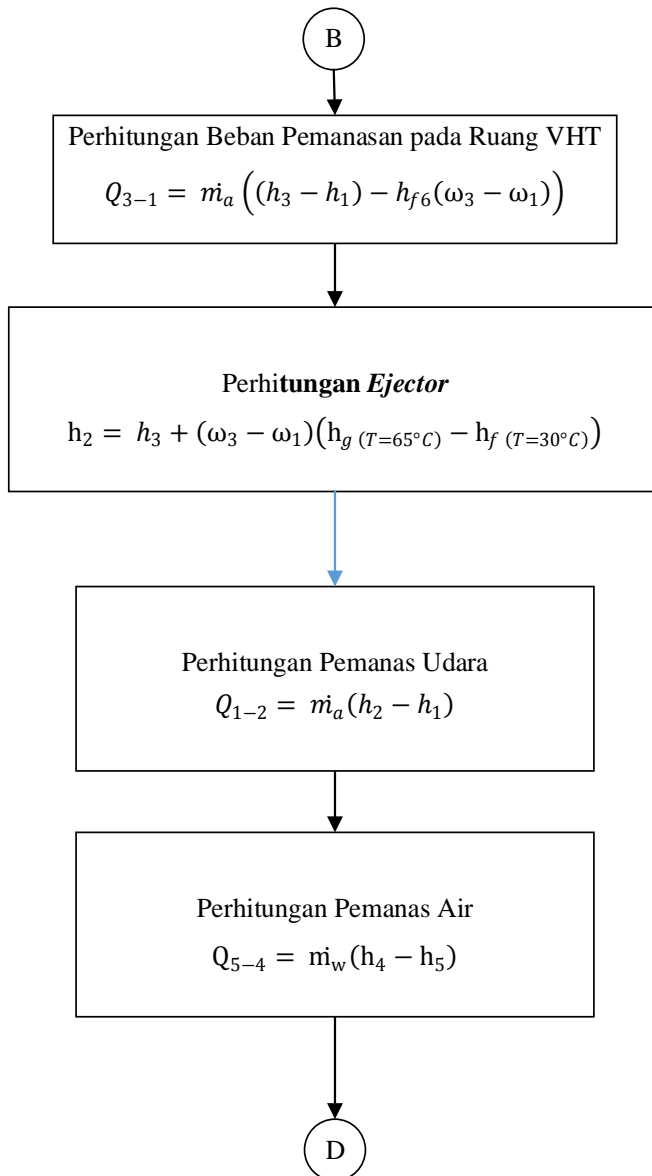
- 1: *suction fan*
- 2: tempat penyimpanan dan pemanas air
- 3: *water mist nozzle/ejector*
- 4: pemanas udara
- 5: pompa *water mist*
- 6: ruang penempatan produk

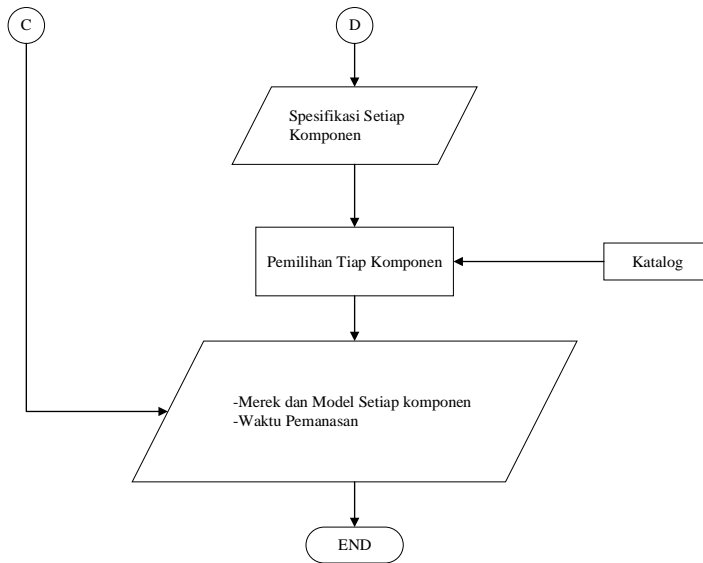
3.7 Flowchart Perhitungan

Berikut ini urutan metode perhitungan VHT:









Gambar 3.5 *Flowchart* Perhitungan

3.8 Jadwal Kegiatan

Terlampir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

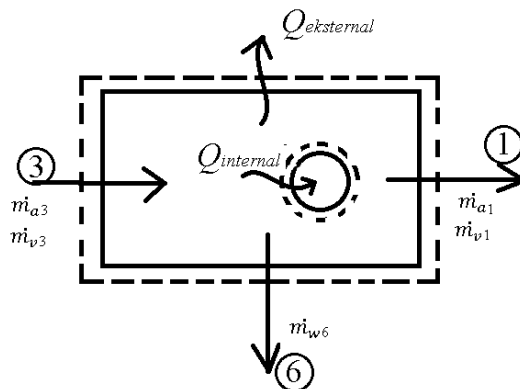
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Estimasi Beban Pemanasan

Beban pemanasan pada ruang pengondisian VHT berasal dari energi panas yang keluar dari sistem. Beban pemanasan terdiri dari beban eksternal atau *heat loss* dan kalor yang diserap oleh buah atau beban internal. Aliran kalor dan massa pada volume atur ruang VHT ditunjukkan pada gambar 4.1. Pada analisis ini, buah yang dijadikan objek pemanasan adalah buah apel.

4.1.1 Perhitungan Beban Internal

Pembebanan sangat bergantung pada koefisien konveksi udara lembab pada ruang VHT, sehingga analisis konveksi pada aliran eksternal diperlukan. Gambar 4.2 menunjukkan skema untuk pendekatan analisis konveksi eksternal pada bola dan analisis *transient*.

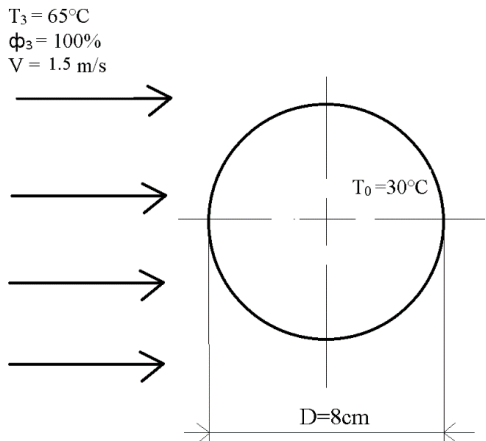


Gambar 4.1 Control Volume pada Ruang

Tabel 4. 1 Parameter pengondisian buah

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter buah (D)	0.08	m
Panjang karakteristik (Lc)	0.04	m
Suhu Buah (awal pengondisian)	30	(°C)
Suhu Buah (akhir pengondisian)	60	(°C)
Suhu Ruang Pengondisian	65	(°C)

Dengan menentukan data parameter pada tabel 4.1 dan *properties* pada tabel 4.2, maka nilai koefisien konveksi dan waktu pemanasan dapat dihitung dengan pendekatan analisis konveksi pada aliran eksternal dan analisis perpindahan panas secara *transient* pada bola.



Gambar 4. 2 Kondisi Perpindahan Konveksi Eksternal pada Buah

Tabel 4. 2 *Properties* Buah dan Udara

<i>Properties</i> Buah	Nilai	Satuan
<i>Specific heat</i> (cp)	3640	(J/kg.K)
Konduktivitas	0.4	(W/m.K)
<i>Thermal Diffusivity</i>	1.29×10^{-7}	m ² /s
<i>Properties</i> Udara	Nilai	Satuan
Kelembaban relatif (ϕ)	100	%
Massa jenis	1.02	kg/m ³
Kecepatan Aliran	1.5	m/s
Viskositas (μ)	0.0002	N.s/m ²
Konduktivitas (kf)	0.03	W/m.K
<i>Specific heat</i> (cp)	1400	J/kg.K
Prandlt (Pr)	0.81	-

a. Perhitungan Koefisien Konveksi Udara Lembab pada Buah

Koefisien konveksi udara lembab dihitung dengan menggunakan analisis aliran eksternal pada bola. Koefisien konveksi akan digunakan untuk perhitungan beban pemanasan dan *Biot Number* (Bi).

Perhitungan bilangan Reynolds, Re_D :

$$Re_D = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{1.02 \times 1.5 \times 0.08}{0.0002} = 612$$

Perhitungan bilangan Nusselt, Nu_D :

$$Nu_D = 2 + \left(0.4 Re_D^{0.5} + 0.06 Re_D^{\frac{2}{3}} \right) Pr^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.25}$$

$$\begin{aligned}
 Nu_D &= 2 + \left(0.4 \times 612^{0.5} + 0.06 \times 612^{\frac{2}{3}} \right) 0.81^{0.4} \left(\frac{0.0002}{0.0002} \right)^{0.25} \\
 &= 15.836
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien konveksi h_D :

$$h_D = \frac{Nu_D k_f}{D} = \frac{15.836 \times 0.03}{0.08} = 5.93 \text{ W/m}^2\text{K}$$

b. Analisis Susunan Buah pada Ruang Pengondisian

Posisi buah pada ruang VHT perlu diatur agar kondisi pendekatan pada gambar 4.2 dapat terpenuhi. Untuk memenuhi analisis pendekatan seperti gambar 4.2 maka buah perlu diberi jarak tertentu dengan pembatas agar aliran udara lembab tidak terhalang jika buah saling bersentuhan. Berdasarkan dimensi ruang VHT dan data buah, maka susunan buah dapat ditentukan seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data Ukuran Buah dan Penempatan pada Ruang VHT

Data Buah (Apel)	Nilai	Satuan		Jumlah apel	Nilai	Satuan
Diameter	0.08	m		<i>num. of apple(L)</i>	49	buah
r_o	0.04	m		<i>num. of apple(w)</i>	19	buah
Surface	0.0201	m ²		<i>num. of row</i>	15	buah
Volume	0.00027	m ³		<i>apple / row</i>	931	buah
<i>Space for 1 apple</i>	0.123	m ³		<i>Area/row</i>	18.7094	m ²
<i>Mass of 1 apple</i>	0.22776	kg		<i>Mass/row</i>	212.04	kg
Density	850	kg/m ³		<i>Total num. of apple</i>	13965	buah
Heat capacity (cp)	3640	J/kg.K		m total (kg)	3180.59	kg
Conductivity (k)	0.4	W/m.K		Luas Permukaan total	280.641	m ²

Setiap buah diberi ruang sebesar 12cm untuk memenuhi analisis dengan kondisi seperti gambar 4.2, sehingga jumlah buah pada tiap sisi ruangan dapat dihitung. Saluran diberi ruang untuk mengalir dengan jarak total 50cm, sehingga ketinggian ruangan yang berisi buah berkurang hingga 1.88m.

$$\text{Jumlah buah pada sisi panjang} = \frac{5.92}{0.12} = 49.33 = 49 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah buah pada sisi} = \frac{2.34}{0.12} = 19.5 = 19 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah buah pada sisi tinggi} = \frac{1.88}{0.12} = 15.667 = 15 \text{ buah}$$

Setelah mendapatkan jumlah buah pada tiap sisi ruangan, maka didapat jumlah buah yang muat pada ruangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$Total\ buah = 49 \times 19 \times 15 = 13965\ buah$$

c. Analisis Perpindahan Panas secara Konveksi

Perpindahan panas konveksi dari udara lembab ke buah terjadi karena temperatur udara lembab lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada permukaan buah. Pada kondisi awal (saat $t=0s$) buah belum mengalami peningkatan temperatur, sehingga perbedaan temperatur antara permukaan buah dan udara lembab bernilai paling besar. Oleh karena itu, perubahan tingkat kondisi udara lembab pada saat $t = 0s$ memiliki perbedaan yang paling jauh, sehingga alat bekerja paling berat pada kondisi ini. Analisis perpindahan panas secara konveksi dilakukan pada seluruh buah yang ada dalam ruang pengondisian sekaligus.

Perhitungan perpindahan panas konveksi pada buah:

$$Q_{conv} = h \cdot A_{total} (T_{\infty\ in\ row1} - T_{surface})$$

$$Q_{conv} = 5.93 \times 280.64 \times (65 - 30) = 58264.832\ Watt$$

Analisis konveksi dilakukan dengan menganggap temperatur udara tidak berubah terhadap jarak lintasan aliran, sehingga perhitungan beban internal pada ruang pengondisian buah bernilai maksimal.

4.1.2 Perhitungan Beban Eksternal

Beban eksternal berasal dari panas yang keluar dari sistem VHT ke lingkungan melewati dinding dan lantai ruang VHT.

Temperatur udara lembab pada ruang VHT dianggap konstan 65°C, sehingga beban eksternal yang didapat bernilai maksimal.

Perhitungan Beban Dinding

Tahanan termal pada dinding terdiri dari konveksi udara di dalam ruang, *cement plester*, *mineral fiber*, *aluminium*, dan konveksi bebas pada udara luar. Berikut merupakan koefisien perpindahan panas, dan *heat loss* pada dinding:

Overall Heat Transfer Coefficient Total:

$$U_{total} = \frac{1}{R''_{convection\ inside} + R''_{cement\ plaster} + R''_{mineral\ fiber} + R''_{aluminium} + R''_{convection\ outside}}$$

$$U_{total} = \frac{1}{24.6 + 0.0445 + 0.32 + 0.675 + 3.86}$$

$$= 0.0339 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Area Total Dinding Ruang VHT

$$A = 2(\text{lebar} \times \text{tinggi} + \text{panjang} \times \text{tinggi})$$

$$A = 2(2.34 \times 2.38 + 5.92 \times 2.38) = 39.32 \text{ m}^2$$

Heat Loss pada Dinding:

$$Q = UA(T_{inside} - T_{outside})$$

$$Q = 0.0339 \times 39.32 (65 - 30) = 51.78 \text{ W}$$

4.1.3 Perhitungan Beban Pemanasan Total

Beban pemanasan total didapat dengan menjumlahkan beban internal dengan beban eksternal. Sehingga hasil perhitungan beban internal dapat dijadikan perhitungan pada analisis pada ruang VHT.

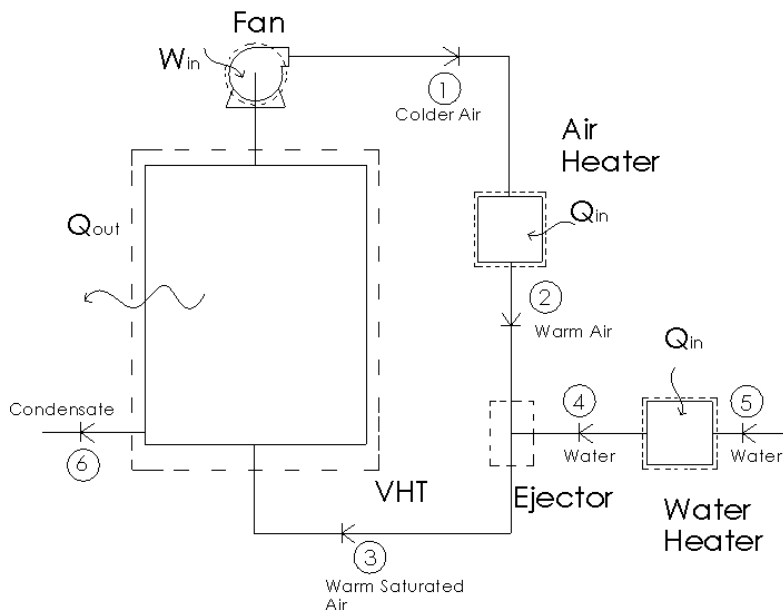
$$Q_{total} = Q_{internal} + Q_{eksternal} = 58265 + 51.78$$

$$= 5916.61 \text{ Watt}$$

4.2 Analisis Termodinamika setiap Subsistem

Subsistem dianalisis berdasarkan perubahan properti aliran fluida kerja yang melewati subsistem tersebut. Seluruh subsistem pada sistem VHT ditunjukkan pada gambar 4.3.

Jika tingkat kondisi 3, 1, dan 6 mengikuti temperatur pada tabel 4.5, maka untuk mengembalikan tingkat kondisi 1 menjadi tingkat kondisi 3 memerlukan proses pada tiap komponen lainnya. Tabel 4.4 menunjukkan properti dan fluida kerja tiap tingkat kondisi.



Gambar 4. 3 Skema Subsistem dan Tingkat Kondisi Pada Sistem VHT

Tabel 4. 4 Properti dan Fluida Kerja pada Setiap Tingkat Kondisi

<i>State</i>	<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Working Fluid</i>	<i>State</i>	<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Working Fluid</i>
	\dot{m}_a [kg/s]	14.04	<i>dry air</i>		\dot{m}_w [kg/s]	0.021	H ₂ O
1	T [°C]	64.86	<i>Saturated Air</i>	4	T [°C]	65	<i>Evaporating Water</i>
	ϕ [%]	100			ϕ [%]	-	
	ω [kg/kg <i>dry air</i>]	0.203			h_{fg} [kJ/kg H ₂ O]	2359	
	h [kJ/kg <i>dry air</i>]	615.3			h_f [kJ/kg H ₂ O]	251.1	
2	T [°C]	70.78	<i>Heated Air</i>	5	T [°C]	30	<i>Saturated Liquid</i>
	ϕ [%]	85.41			ϕ [%]	-	
	ω [kg/kg <i>dry air</i>]	0.203			ω [kg/kg <i>dry air</i>]	-	
	h [kJ/kg <i>dry air</i>]	623.1			h_f [kJ/kg H ₂ O]	125.8	
3	T [°C]	65	<i>Saturated Air</i>	6	T [°C]	64.86	<i>Saturated Liquid</i>
	ϕ [%]	100			ϕ [%]	-	
	ω [kg/kg <i>dry air</i>]	0.204			ω [kg/kg <i>dry air</i>]	-	
	h [kJ/kg <i>dry air</i>]	619.6			h_f [kJ/kg H ₂ O]	271.5	

4.2.1 Analisis Ruang VHT

Fluida kerja pada ruang VHT berfungsi untuk memanaskan buah. Udara lembab pada ruang VHT mengalami proses pengembunan, sehingga ada aliran kondensat yang keluar dari sistem seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Kalor yang keluar dari ruang VHT adalah beban pemanasan total dari analisis *heat loss* dan beban pemanasan internal.

Perhitungan Laju Alir Massa

Laju alir massa dihitung berdasarkan kecepatan aliran udara lembab yang telah ditentukan pada ruang VHT, massa jenis udara, dan luasan yang dilewati oleh udara lembab. Luasan yang dialirkan udara lembab berdasarkan dimensi buah dan ruangan.

$$A = (\text{panjang} \times \text{lebar})_{\text{ruangan}} - (\pi r_{\text{buah}}^2 \times \text{buah per baris})$$

$$A = (5.92 \times 2.34) - (\pi 0.04^2 \times 931) = 9.17 \text{ m}^2$$

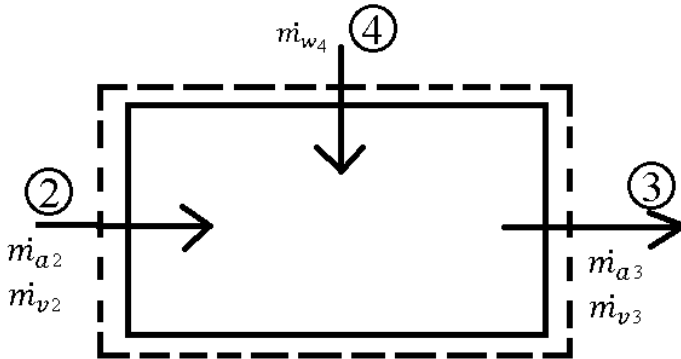
$$\dot{m}_a = \rho A V = 1.02 \times 9.17 \times 1.5 = 14.038 \text{ kg/s}$$

Perhitungan Kalor pada Ruang VHT

$$Q_{3-1} = \dot{m}_a \left((h_3 - h_1) - h_{f6}(\omega_3 - \omega_1) \right)$$

$$59.16 \text{ kW} = 14.04 \left((619.6 - h_1) - h_{f6}(0.204 - \omega_1) \right)$$

Pada analisis *heat balance* terdapat tiga variabel berdasarkan fungsi temperatur yang sama yang tidak diketahui, sehingga dengan iterasi ketiga properti tersebut dengan temperatur yang berbeda, didapat nilai yang paling mendekati adalah $T_1=64.86^\circ\text{C}$.



Gambar 4. 4 Volume Atur *Ejector*

4.2.2 Analisis *Ejector*

Ejector digunakan untuk meningkatkan kelembaban udara hingga mencapai kondisi jenuh. Pada sistem ini, fase air yang dimasukkan ke dalam sistem adalah cair jenuh, sehingga air membutuhkan kalor dari udara untuk berubah fase dari cair jenuh hingga menjadi uap jenuh agar dapat larut dalam udara. Volume atur dalam sistem *ejector* ditunjukkan pada gambar 4.4.

Perhitungan Laju Alir Massa Air

Dari perhitungan pada ruang VHT, maka kelembaban absolut pada tingkat kondisi 1 bisa didapat, sehingga laju alir massa bisa dihitung.

$$\begin{aligned}\dot{m}_w &= (\omega_3 - \omega_2)\dot{m}_a = (0.204 - 0.2024)14.04 \\ &= 0.02106 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

Perhitungan Entalpi pada Tingkat Kondisi 2

$$\dot{m}_a \left((h_2 - h_3) - (\omega_3 - \omega_1)h_{g(T=65^\circ\text{C})} + (\omega_3 - \omega_1)h_{f(T=60^\circ\text{C})} \right) = 0$$

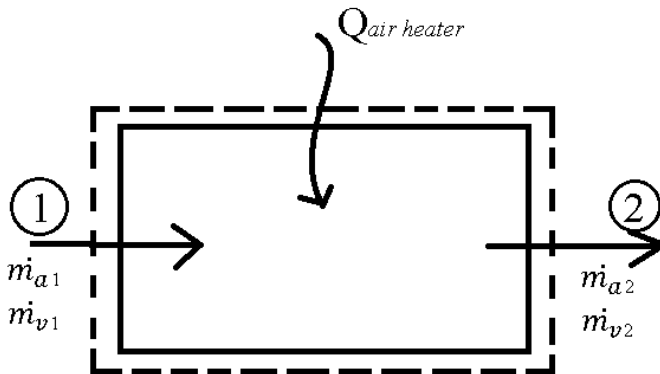
$$h_2 = h_3 + (\omega_3 - \omega_1)(h_{g(T=65^\circ\text{C})} - h_{f(T=60^\circ\text{C})})$$

$$\begin{aligned} h_2 &= 619.6 + (0.204 - 0.2024)(2466 - 125.1) \\ &= 623.1 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}} \end{aligned}$$

Tingkat kondisi 2 memiliki entalpi 623.1 kJ/kg berdasarkan udara kering, sehingga dengan kelembaban absolut yang sama seperti tingkat kondisi 1, udara pada tingkat kondisi 2 memiliki nilai temperatur $T=70.78^\circ\text{C}$

4.2.3 Analisis Pemanas Udara

Pemanas udara digunakan untuk meningkatkan temperatur udara jenuh yang berasal dari ruang VHT. Pemanasan terjadi dengan satu aliran masuk dan satu aliran keluar, sehingga tidak ada penambahan massa apapun saat udara dipanaskan. Oleh karena itu, proses ini bekerja dengan kelembaban absolut konstan. Dengan meningkatnya temperatur tanpa penambahan kadar air, maka kelembaban relatif pada tingkat kondisi 2 akan berkurang. Volume atur pada proses ini ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Volume Atur Pemanas

Perhitungan kalor pada pemanas udara

$$Q_{1-2} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) = 14.04(623.1 - 615) = 113.711 \text{ kW}$$

4.2.4 Analisis Pemanas Air

Pemanas air digunakan untuk meningkatkan temperatur air yang akan ditambahkan ke sistem VHT. Air yang digunakan berasal dari lingkungan, oleh karena itu temperatur air yang masuk pada tingkat keadaan 5 memiliki temperatur 30°C. Volume atur pada proses pemanasan air ditunjukkan pada gambar 4.6.

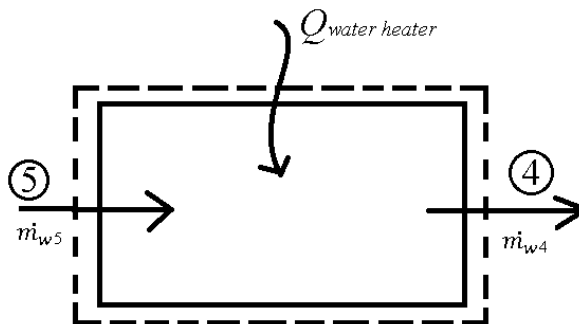
Perhitungan kalor pada pemanas air

Beban kalor pada pemanas air dihitung dengan perhitungan kesetimbangan energi secara keseluruhan karena seluruh tingkat kondisi sudah didapat.

$$\begin{aligned} Q_{5-4} &= \dot{m}_w(h_{f5} - h_{f6}) - Q_{air \text{ heater}} + Q_{evaporating} + Q_{load} \\ Q_{5-4} &= 0.0225(125.8 - 271.4) - 113.7 + 54.59 + 58.48 \\ &= 2.63 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.2.5 Kesetimbangan Massa dan Energi Sistem

Setelah melakukan perhitungan pada setiap komponen dan didapat data seperti pada tabel 4.5, maka dilakukan perhitungan



Gambar 4. 6 Volume Atur Pemanas Air

kesetimbangan massa dan energi pada sistem secara keseluruhan. Untuk sistem yang setimbang, total energi yang masuk sama dengan total energi yang keluar.

Tabel 4. 5 Data Aliran Energi Pada Seluruh Komponen

Energi Masuk (kW)		Energi Keluar (kW)	
Q _{pemanas udara}	113.7114	Q _{load}	58.47856
Q _{pemanas air}	2.63249	Aliran air keluar	6.098302
Aliran air masuk	2.825659	Q _{evaporasi}	54.59272
Total in	119.3515	Total out	119.1696
Balanced	0		

Kesetimbangan energi dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2. Aliran energi dan massa dapat dinilai setimbang jika hasil perhitungan menunjukkan nilai nol. Perhitungan kesetimbangan energi dihitung sebagai berikut:

$$\text{Balance energy} = E_{\text{in}} - E_{\text{out}} \approx 0$$

Balance energy =

$$(Q_{\text{A.Heater}} + Q_{\text{W.Heater}} + m_{\text{w}}h_{\text{f5}}) - (Q_{\text{load}} + Q_{\text{evap}} + m_{\text{w}}h_{\text{f6}})$$

Balance energy =

$$(113.7114 + 2.8256 + 2.632) - (58.478 + 54.592) = 0$$

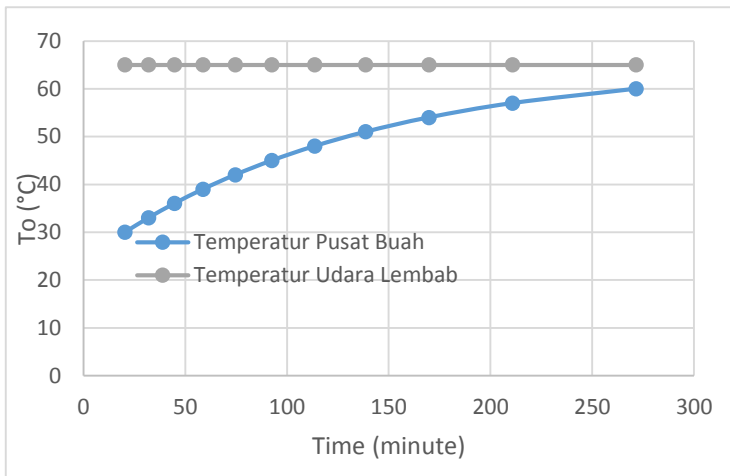
4.3 Analisis Perpindahan Panas *Transient*

Saat dipanaskan, buah akan mengalami peningkatan temperatur seiring dengan bertambahnya waktu, oleh karena itu diperlukan perhitungan untuk menentukan waktu pemanasan untuk melakukan estimasi energi yang dibutuhkan untuk satu kali pemanasan pada sistem VHT. Analisis perpindahan panas dilakukan dengan pendekatan bentuk bola seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.

Perhitungan Perpindahan Panas *Transient*

$$Bi = \frac{h_D D}{k_f} = \frac{5.93 \times 0.08}{0.03} = 0.593$$

Karena *Biott Number*, $Bi > 0.1$, maka analisis menggunakan metode *approximate solution* untuk konduksi *transient*. Untuk $Bi = 0.6$, maka besar $\xi_1 = 1.2644$ dan $C_1 = 1.1713$.



Gambar 4.7 Grafik Perubahan Temperatur Pusat Buah terhadap Waktu

Contoh Perhitungan Waktu Pemanasan

Perhitungan ini menggunakan temperatur udara lembab yang melewati buah bernilai 65°C. Kondisi ini adalah kondisi udara lembab yang melewati buah pada baris pertama. Jika perhitungan waktu diulang hingga mencapai temperatur yang diharapkan ($T_0 = 60^\circ\text{C}$), maka hasil perhitungan akan membentuk grafik seperti pada gambar 4.7.

$$\begin{aligned}
 t &= -\frac{Lc^2}{\xi_1^2 \cdot \alpha} \ln\left(\frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty}\right) \\
 &= -\frac{0.04^2}{1.2644^2 \times 1.3 \times 10^{-7}} \ln\left(\frac{33 - 65}{30 - 65}\right) = 1917s
 \end{aligned}$$

Gambar 4.7 menunjukkan grafik perubahan temperatur pusat buah terhadap waktu yang membentuk fungsi eksponensial. Saat temperatur pusat buah mencapai target ($T=60^\circ\text{C}$) waktu yang dibutuhkan adalah 271.46 menit atau 4.52 jam.

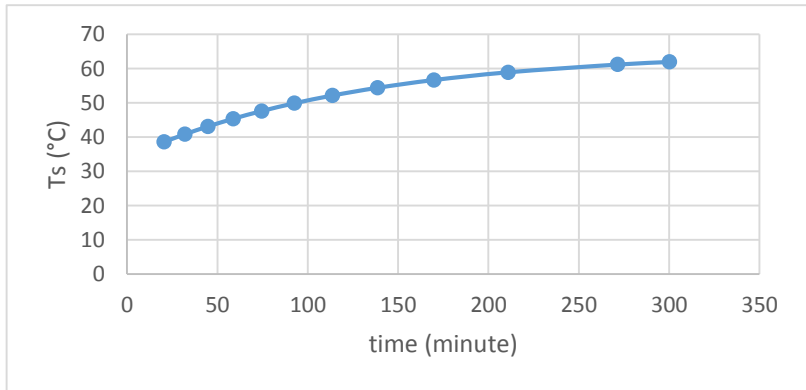
Contoh Perhitungan Perubahan Beban Internal Terhadap Waktu

Temperatur permukaan buah akan meningkat terhadap waktu karena pemanasan pada buah berlangsung secara *transient*. Dengan menggunakan konstanta ξ_1 dan C_1 dari perhitungan bilangan Biot dan nilai Fo dari perhitungan waktu maka temperatur permukaan dapat dihitung untuk nilai $r^*=1$. Dengan mengulang perhitungan hingga waktu akhir pengondisian, maka hasil perhitungan akan membentuk grafik seperti pada gambar 4.8.

$$T_s = C_1 \exp(-\xi_1^2 Fo) \frac{1}{\xi_1 r^*} \sin(\xi_1 r^*) (T_i - T_\infty) + T_\infty$$

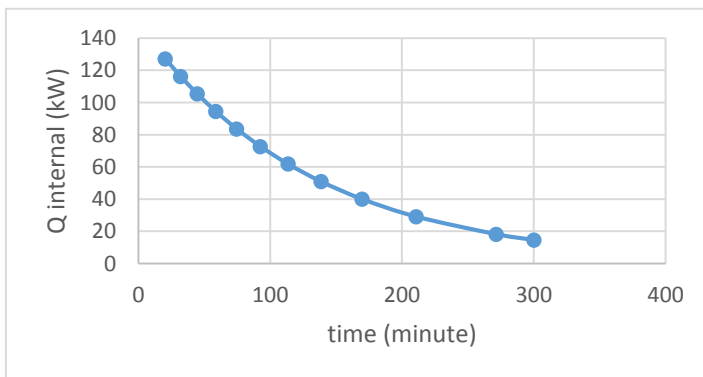
$$T_s = 1.17 \exp(-1.26^2 \times 0.155) \frac{1}{1.26} \sin(1.26)(30 - 65) + 65$$

$$= 40.87 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Gambar 4. 8 Grafik Perubahan Temperatur Permukaan Buah terhadap Waktu

Perubahan temperatur permukaan buah mempengaruhi beban internal pada ruang pengondisian karena dengan meningkatnya temperatur permukaan buah, maka perbedaan temperatur antara udara lembab dan permukaan buah berkurang, sehingga beban internal akan berkurang pula terhadap waktu. Jika perhitungan beban internal diulang hingga waktu akhir pengondisian, maka hasil perhitungan akan membentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik Perubahan Beban Internal terhadap Waktu

Hasil perhitungan menunjukkan penurunan beban internal terhadap waktu dengan membentuk persamaan garis eksponensial dengan nilai nilai paling rendah pada akhir pengondisian bernilai 4.98kW

4.4 Pemilihan Komponen

Berdasarkan perhitungan pada setiap analisis komponen VHT, maka direkomendasikan komponen-komponen dengan spesifikasi seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Komponen Utama Unit VHT

No.	Komponen	Merek	Tipe / model	Spesifikasi	Jumlah
1	<i>Fan</i>	Systemair	<i>Axial Fans AW/A R 630</i>	<i>Power:</i> 1.950 kW	3
				<i>Flow:</i> 4.67 m ³ /s	
				<i>Pressure:</i> 60Pa	
2	<i>Air Heater</i>	WATLOW	D60S - series	<i>Power:</i> 60kW	2
				<i>Dimensi (m):</i> 0.7x0.53x0.27	
3	<i>Misting Nozzle</i>	BETE	SS4.8	<i>Pressure input:</i> 10psi	4
				<i>Flow Rates:</i> 2.4 gallons/minute	

4	<i>Water Pump</i>	NOCCHI	VLRI /X 2B- 30/2 F M	Head: 19m	1
				<i>Flow:</i> 0.2 m3/h	
				<i>Power:</i> 0.07 kW	
				NPSH: 0.2m	
				<i>Efficiency:</i> 46%	
5	<i>Water Heater</i>	Hubbell	<i>Horizontal</i>	<i>Power Input:</i> 15kW	1
				<i>Temperature Raise:</i> 80°F	
				<i>Heated Flow:</i> 77 Gallons/h	

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan pada BAB IV, diperoleh kesimpulan untuk desain VHT sebagai berikut:

1. Komponen utama pada sistem VHT terdiri dari ruang buah dengan lapisan *cement plaster*, *mineral fiber*, *aluminum*, pemanas udara WATLOW model D60S-series berjumlah 2 buah dengan daya input 60kW, pemanas dan penampung air Hubbell tipe horizontal satu buah dengan daya input 15kW, misting nozzle BETE tipe SS4.8, fan Systemair tipe AW/AR 630DV sebanyak 3 buah dengan daya input 1.950 kW, dan satu pompa air NOCCHI model VLRI/X 2B-30/2 FM dengan daya input 0.07kW.
2. Dengan dimensi ruang sebesar 32.97 m³ dan kapasitas buah apel sebanyak 3180.59 kg untuk satu kali proses pemanasan membutuhkan daya dan konsumsi air pada awal proses sebesar 140.92 kW dan 0.02106 kg/s.
3. Buah pada baris pertama akan mencapai temperatur target dalam waktu 4.52 jam pengondisian.

5.2 Saran

Berikut ini saran dalam tugas akhir perancangan unit VHT:

1. Sebaiknya dilakukan perhitungan untuk jenis buah *climacteric* yang lainnya agar mengetahui perbedaan kebutuhan pada buah yang berbeda.
2. Sebaiknya sebagian dari beban pemanasan menggunakan pompa kalor agar konsumsi listrik dapat lebih ringan.
3. Sebaiknya dibuat sistem sirkulasi dan pengondisian air yang lebih baik, sehingga kebutuhan konsumsi air dan daya pada pemanas air lebih ringan.

4. Sebaiknya perhitungan perubahan kondisi terhadap waktu lebih mendalam lagi sehingga perkiraan kebutuhan energi dan konsumsi air lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Howard N. Shapiro and Michael J. Moran. 2006. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. England: John Wiley & Sons Ltd.
- [2] Theodore L. Bergman. 2011. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. United States of America. John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Elpodesy Marlisa. 2007. Kajian Disinfestasi Lalat Buah dengan Perlakuan Uap Panas (Vapor Heat Treatment) pada Mangga Gedong Gincu. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [4] Mely Yursa. 2008. Pengaruh Perlakuan Uap Panas (Vapor heat Treatment) dan Pelilinan terhadap Laju Respirasi dan Produksi Etilen pada Buah Alpukat. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [5] Aris Setyawan, 2008. Rancangbangun dan Uji Performansi Unit VHT (Vapor Heat Treatment) untuk Penanganan Pascapanen Pepaya. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- [6] Nico Agung Wijaya. 2016. Pematangan Buah. <http://www.nicois.me/2015/02/kenapa-buah-matang-setelah-dipetik.html>.
- [7] W. Stoecker and J. Jones. 1982. Refrigeration and Air Conditioning. New York: McGraw-Hill, Inc.
- [8] [Dek Kembar. 2016. Ukuran Peti Kemas. <https://mdk16.wordpress.com/?s=peti+kemas>.
- [9] Aris Setyawan. 2008. Rancangbangun dan Uji Performansi Unit VHT (Vapor Heat Treatment) untuk Penanganan Pascapanen Pepaya. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [10] Tri Noviyanti. 2012. Pengaruh Temperatur terhadap Aktivitas Enzim Protease dari Daun Sansakng (*Pycnarrhena cauliflora Diels*). Kalimantan Barat. Universitas Tanjungpura.
- [11] Jorge E. Lozano. 2006, FRUIT MANUFACTURING Scientific Basis, Engineering Properties, and Deteriorative

Reactions of Technological Importance: Bahia Blanca: Springer Science+Business Media, LLC.

- [12] Gaffney, J.J., Hallman, G.J., Sharp, J.L, 1990. Vapor Heat Research Unit for Insect Quarantine Treatments. J. Econ. Entomol. 83, 1965-1971
- [13] Miller, W.R., McDonald, R.E., 1992. Postharvest Quality of Early Season Grapefruit after Forced Air Vapor Heat Treatment. HortScience 27, 422–424.
- [14] Jacobi, K.K., Gowanlock, D., 1995. Ultrastructural Studies of ‘Kensington’ Mango (*Mangifera Indica* Linn.) Heat Injuries. HortScience 30, 102–

LAMPIRAN

Spesifikasi *Fan*

Axial fans



AR silero

- Speed controllable by voltage reduction, plus option of 2-step operation by D/Y switching for 400V versions
- Inlet protection guard up to size 630, for bigger sizes as accessory
- Safe and maintenance free operation
- Electric connection via terminal box supplied with the fan
- Single phase fans are supplied with capacitor

Axial fans of the AR silero range do have a bionic shape of the fan blade, which reduces the noise level and increases the efficiency of the fan. AR silero fans are driven by external rotor motors. The AR range is equipped with a short casing and flanges according to Eurovent 1/2, galvanized steel and powder coated in black (RAL9005). The protection guard at the inlet side is powder coated in black. The axial impeller is manufactured either from pressure die cast aluminium, powder coated in black, or from high efficiency composite material.

The impeller is balanced dynamically in two levels in accordance with DIN ISO 1940 part 1, quality G6.3.

The motors are equipped with thermal contacts for motor protection, with leads to be connected to a motor protection unit, for example Sys-tem unit S-ET.

ELECTRICAL ACCESSORIES



S-ET/STD
p. 341-342



RTRE p. 320



REU p. 320



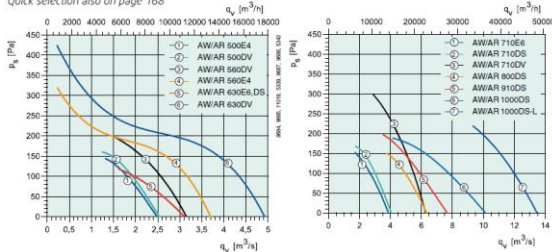
REE p. 321



RTRD/RTDU
p. 321

QUICK SELECTION

Quick selection also on page 168

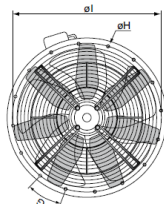
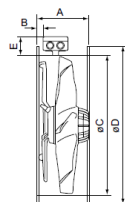


TECHNICAL DATA

AR silero	200 E4	200 E2	250 E4	250 E2	300 E4	300 E2-K	315 DV	315 E4	350 E4	350 DV	400 E4	400 DV	450 DV-K	450 E4-K	450 E4
Art no.	34458	34457	34460	34459	34462	5772	34464	34463	34465	34466	34468	34470	34474	34472	34471
Voltage/frequency	V/50Hz	230-1~	230-1~	230-1~	230-1~	230-1~	400-3~	230-1~	230-1~	230-1~	400-3~	230-1~	400-3~	230-1~	230-1~
Power	W	30	80	50	140	100	309	120	160	170	190	240	230	350	550
Current	A	0.15	0.38	0.24	0.59	0.44	1.35	0.816	0.87	0.75	0.4	1.1	0.44	0.64	1.75
Max air flow	m³/s	0.124	0.242	0.273	0.486	0.584	0.948	0.39	0.677	0.91	0.976	1.07	1.08	1.55	1.98
Max temp. of transported air	°C	70	60	55	70	60	50	70	50	60	70	65	70	65	70
When speed controlled	°C	70	60	55	70	60	50	70	50	60	70	65	70	65	70
Sound pressure level at 1 m	dB(A)	46	59	52	64	56	72	62	59	62	64	64	66	65	66
Weight	kg	3.2	3.2	4	4.2	5.9	6.6	6.8	6.7	7.5	7.6	8.7	10.1	10.1	16.2
Insulation class, motor	F	F	F	F	F	B	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Enclosure class, motor	IP 44	IP 44	IP 44	IP 44	IP 44	IP 54	IP 44	IP 44	IP 44	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 44	IP 54
Capacitor	µF	1	1.5	1.5	3.5	3	8	5	5	5	5	5	5	7	14
Wiring diagram p. 391-400	49	49	49	49	49	5	18	49	49	18	63	18	18	63	63

Impeller material: put comp. in no. 1 to 14
put also in no. 15 and full next page

DIMENSIONS



AR	A	B	AC	AD	E	G	H	Ø
200	85	-	204	255	-	4x90°	10	225
250	95	-	254	306	-	4x90°	10	280
300-315	130	-	319	382	-	8x45°	10	355
350	135	-	356	421	-	8x45°	10	395
400	155	-	400	466	-	8x45°	12	450
4500V	160	25	451	515	72	8x45°	12	500
4500V-K	160	-	451	515	-	8x45°	12	500
450E4	175	25	451	515	72	8x45°	12	500
450E4-K	160	-	451	515	-	8x45°	12	500
500	174	6	503	567	72	12x30°	12	560
560	210	-	559	636	72	12x30°	12	620
630	220	-	634	709	72	12x30°	12	690
710	260	33	711	785	72	16x22.5°	12	770
800	280	33	797	875	72	16x22.5°	12	860
910	330	-	914	1005	73	16x22.5°	15	970
1000DS	376	44.5	1001	1085	63	16x22.5°	15	1070
1000DS-L	330	44.5	1003	1079	63	16x22.5°	15	1070

Dimension subject to change

AR	Motor protection	Transformer	Thyristor
200E2	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
200E4	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
250E2	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
250E4	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
300E2	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
300E4	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
3150V	STOT	RTRO 2/RTROU 2	-
315E4	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
3500V	STOT	RTRO 2/RTROU 2	-
350E4	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 1
4000V	STOT	RTRO 2/RTROU 2	-
400E4	S-ET	RTRE 1.5/REU 1.5	REE 2
4500V-K	STOT	RTRO 2/RTROU 2	-
450E4	S-ET	RTRE 3/REU 3	REE 4
450E4-K	S-ET	RTRE 3/REU 3	REE 2
5000V	STOT	RTRO 4/RTROU 4	-
500E4	S-ET	RTRE 5/REU 5	REE 4
5600V	STOT	RTRO 4/RTROU 4	-
560E4	S-ET	RTRE 7/REU 7	-
6300A-2	STOT	RTRO 4/RTROU 4	-
6300S	STOT	RTRO 2/RTROU 2	-
630E6	S-ET	RTRE 5/REU 5	REE 4
7100V	STOT	RTRO 7/RTROU 7	-
7100S	STOT	RTRO 4/RTROU 4	-
710E6	S-ET	RTRE 5/REU 5	REE 4
8000S	STOT	RTRO 4/RTROU 4	-
9100S	STOT	RTRO 7/RTROU 7	-
10000S	STOT	RTRO 7/RTROU 7	-
10000S-L	STOT	RTRO 14	-

VENTILATION ACCESSORIES



VK p. 356



SG AR p. 385



EV-AR p. 387



GFL-AR p. 389



MFA-AR p. 386

AR sileo	450 DV	500 E4	500 DV-2	560 E4	560 E6	630 DS	630 DV	710 E6	710 DS	710 DV	800 DS	910 DS	1000 DS	1000 DS-2
Art. no.	34473	34475	34476	5789	5790	34479	34481	5792	34482	34484	34483	34485	34486	34487
Voltage/Frequency	V/50 Hz	4003-	2301-	4003-	4003-	2301-	2301-	4003-	2301-	4003-	4003-	4003-	4003-	4003-
Power	W	540	750	770	993	1449	730	630	1950	950	1000	2600	1600	1950
Current	A	1.1	3.35	1.7	1.8	6.49	3.4	1.25	3.41	4.4	2.5	4.9	3.6	4.4
Max air flow	m³/s	2.0	2.48	2.54	3.43	3.72	3.1	3.12	4.94	3.86	4.05	6.27	6.33	7.66
R.p.m.	min-1	1350	1230	1300	1216	1287	910	900	1353	850	910	1330	920	880
Max temp. of transported air	°C	70	70	70	60	50	70	70	60	65	70	60	70	70
" when speed controlled	°C	70	70	70	60	50	70	70	60	65	70	60	70	70
Sound pressure level at 1 m	dB(A)	67	68	67	74	77	67	64	80	67	66	76	73	72
Weight	kg	14.6	20.1	20.1	23.5	31.7	27	24.5	34.2	35.1	35.1	36.9	53	58.1
Insulation class, motor		F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Enclosure class, motor		IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54
Capacitor	µF	16	-	-	30	16	-	-	16	-	-	-	-	-
Wiring diagram p. 391-400		49	49	49	16	63	49	49	18	49	49	49	49	49

Spesifikasi Pemanas Udara

Air Heaters

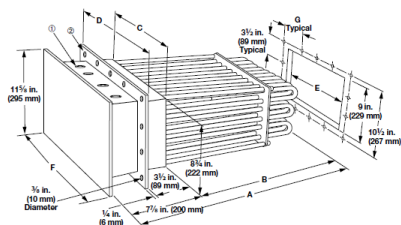
Duct Heaters

D SERIES

**Application: Medium Temperature Air
750°F (399°C)**

- Removable alloy 840 WATROD elements
- Without thermostat
- General purpose enclosure
- Steel flange

- ① 6 and 12 element heaters have (1) 1 inch NPT conduit opening; 18, 24, 30 and 42 element heaters have (2) 1 inch NPT conduit openings; 36, 48, 54, and 60 element heaters have (2) 1 inch NPT and (2) 1 1/4 inch conduit openings
- ② All flanges are 12 inches wide



# of Elem.	Volts	kW	Ph	Circ	Part Number	Del.	Ship Wt. lbs. (kg)	"A" Dim. in. (mm)	"B" Dim. in. (mm)	"C" Dim. in. (mm)	"D" Dim. in. (mm)	"E" Dim. in. (mm)	"F" Dim. in. (mm)	"G" Dim. in. (mm)
30 W/in ² (4.7 W/cm ²)														
36	240	54.0	3	3	D36SX3S	M	135 (62)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	12 3/4 (324)	16 1/2 (419)	13 (330)	15 3/4 (400)	3 3/4 (95)
36	480	54.0	1	3	D36SX11S	M	135 (62)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	12 3/4 (324)	16 1/2 (419)	13 (330)	15 3/4 (400)	3 3/4 (95)
36	480	54.0	3	2	D36SX5S	M	135 (62)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	12 3/4 (324)	16 1/2 (419)	13 (330)	15 3/4 (400)	3 3/4 (95)
42	240	63.0	3	7	D42SX3S	M	155 (71)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	14 3/4 (375)	18 1/2 (470)	15 (381)	17 3/4 (451)	4 1/4 (108)
42	480	63.0	1	3	D42SX11S	M	155 (71)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	14 3/4 (375)	18 1/2 (470)	15 (381)	17 3/4 (451)	4 1/4 (108)
42	480	63.0	3	2	D42SX5S	M	155 (71)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	14 3/4 (375)	18 1/2 (470)	15 (381)	17 3/4 (451)	4 1/4 (108)
48	240	72.0	3	4	D48SX3S	M	195 (89)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	16 3/4 (425)	20 1/2 (521)	17 (432)	19 3/4 (502)	4 3/4 (121)
48	480	72.0	1	4	D48SX11S	M	195 (89)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	16 3/4 (425)	20 1/2 (521)	17 (432)	19 3/4 (502)	4 3/4 (121)
48	480	72.0	3	2	D48SX5S	M	195 (89)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	16 3/4 (425)	20 1/2 (521)	17 (432)	19 3/4 (502)	4 3/4 (121)
54	240	81.0	3	6	D54SX3S	M	205 (93)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	18 3/4 (476)	22 1/2 (572)	19 (483)	21 3/4 (552)	5 1/4 (133)
54	480	81.0	1	6	D54SX11S	M	205 (93)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	18 3/4 (476)	22 1/2 (572)	19 (483)	21 3/4 (552)	5 1/4 (133)
54	480	81.0	3	3	D54SX5S	M	205 (93)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	18 3/4 (476)	22 1/2 (572)	19 (483)	21 3/4 (552)	5 1/4 (133)
60	240	90.0	3	5	D60SX3S	M	235 (107)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)
60	480	90.0	1	4	D60SX11S	M	235 (107)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)
60	480	90.0	3	4	D60SX5S	M	235 (107)	27 7/8 (708.0)	20 (508)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)
60	240	115.0	3	10	D75SX3S	M	260 (118)	32 7/8 (835.0)	25 (635)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)
60	480	115.0	1	5	D75SX11S	M	260 (118)	32 7/8 (835.0)	25 (635)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)
60	480	115.0	3	4	D75SX5S	M	260 (118)	32 7/8 (835.0)	25 (635)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)
60	480	150.0	3	4	D100SX3S	M	290 (132)	40 3/8 (1025.5)	32 1/2 (826)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)
60	480	190.0	3	5	D125SX5S	M	310 (141)	49 3/8 (1254.1)	41 1/2 (1054)	20 3/4 (527)	24 1/2 (622)	21 (533)	23 3/4 (603)	5 3/4 (146)

- M - Manufacturing lead times
- Truck Shipment only

Notes:

- See Watt Density vs. Air Temperature/Velocity charts on page 393 to confirm suitability in the application.

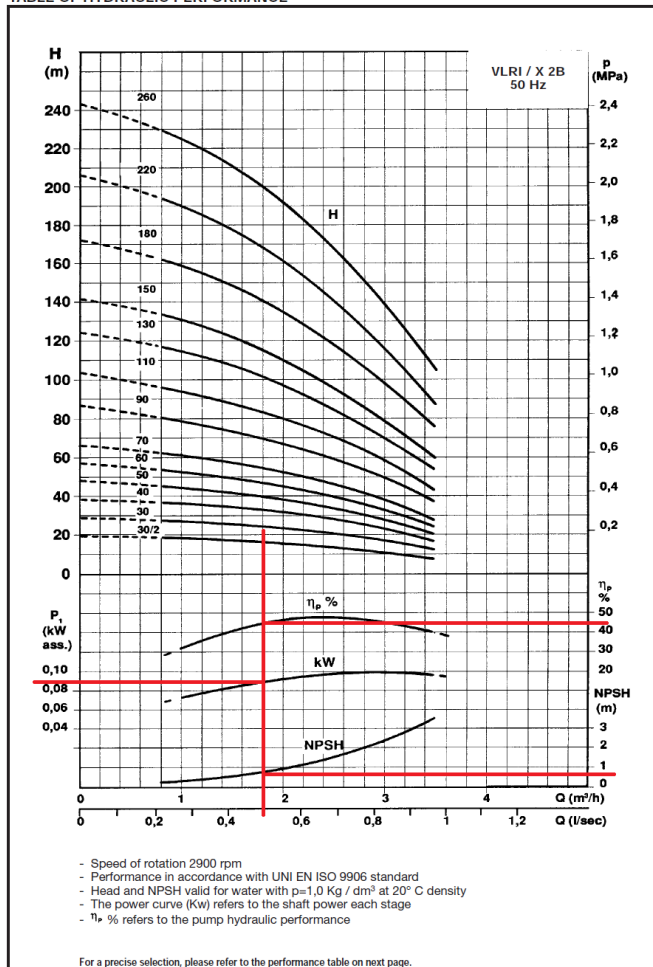
Spesifikasi Pompa Air

a) Karakteristik kerja



VLRI / X 2B

TABLE OF HYDRAULIC PERFORMANCE



b) Dimensi Pompa


VLRI / X 2B

PUMP PERFORMANCE

MODEL	CODE VLRI	CODE VLRX	Motor Power		VOLTAGE	Amp.	μF.	Q m ³ /h	L/T m/h	10	20	30	40	50
			HP	KW						0,6	1,2	1,8	2,4	3,0
VLRI/X 2B-30/2 F VLRI/X 2B-30/2 F T	E2400010 E2400020	E2730010 E2730020	0,50	0,37	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	2,8 1,7 - 1	16	Discharge head in meters	18	17	16	13	10	
VLRI/X 2B-30 F VLRI/X 2B-30 F T	E2400030 E2400040	E2730030 E2730040			1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	2,8 1,7 - 1			27	26	23	20	15	
VLRI/X 2B-40 F VLRI/X 2B-40 F T	E2400050 E2400060	E2730050 E2730060	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	4,2 2,6 - 1,5	36	34			31	26	20			
VLRI/X 2B-50 F VLRI/X 2B-50 F T	E2400070 E2400080	E2730070 E2730080	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	4,2 2,6 - 1,5	45	43			39	33	25			
VLRI/X 2B-60 F VLRI/X 2B-60 F T	E2400090 E2400100	E2730090 E2730100	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	5 3,5 - 2	54	51			46	39	30			
VLRI/X 2B-70 F VLRI/X 2B-70 F T	E2400110 E2400120	E2730110 E2730120	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	5 3,5 - 2	64	60			54	46	35			
VLRI/X 2B-90 F VLRI/X 2B-90 F T	E2400130 E2400140	E2730130 E2730140	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	7,9 4,5 - 2,6	82	77			70	59	45			
VLRI/X 2B-110 F VLRI/X 2B-110 F T	E2400150 E2400160	E2730150 E2730160	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	7,9 4,5 - 2,6	100	94			85	72	55			
VLRI/X 2B-130 F VLRI/X 2B-130 F T	E2400170 E2400180	E2730170 E2730180	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	10,5 6,1 - 3,5	118	111			101	85	65			
VLRI/X 2B-150 F VLRI/X 2B-150 F T	E2400190 E2400200	E2730190 E2730200	1 ~ 230 V 3 ~ 230-400 V	10,5 6,1 - 3,5	136	128			116	99	75			
VLRI/X 2B-180 F	E2400210	E2730210	3,00	2,20	3 ~ 230-400 V	8,5 - 4,9			163	154	139	118	90	
VLRI/X 2B-220 F	E2400220	E2730220	3,00	2,20	3 ~ 230-400 V	8,5 - 4,9			199	188	170	144	110	
VLRI/X 2B-260 F	E2400230	E2730230	4,00	3,00	3 ~ 230-400 V	11,6 - 6,7			235	222	201	170	130	

VERSIONS AVAILABLE :

Type "F" : with 1" 1/4 (DN32) round flanges. Counterflanges with 1" 1/4 GAS on request.

Type "A" (on request up to VLRI/X 2B-150) : with 1" 1/4 (DN32) oval flanges.

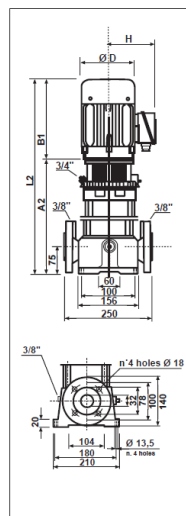
Counterflanges 1" 1/4 GAS included.

Type "V" (on request and only on VLRX) : with 1" 1/4 connections for Victaulic type joint.

Couplings on request.

TABLE OF SIZES AND WEIGHTS

Model	Dimensions (mm)					Net Weight (kg)
	A	B	L	D	H	
VLRI/X 2B-30/2 F	250	215	465	158	168	26
VLRI/X 2B-30 F	250	215	465	158	168	27
VLRI/X 2B-40 F	268	215	483	158	168	29
VLRI/X 2B-50 F	286	215	501	158	168	31
VLRI/X 2B-60 F	308	245	553	170	203	32
VLRI/X 2B-70 F	328	245	571	170	203	39
VLRI/X 2B-90 F	362	245	607	170	203	39
VLRI/X 2B-110 F	368	245	633	170	203	42
VLRI/X 2B-130 F	453	255	708	180	205	43
VLRI/X 2B-150 F	489	255	744	180	205	49
VLRI/X 2B-180 F	568	280	848	180	205	49
VLRI/X 2B-220 F	640	280	920	180	205	61
VLRI/X 2B-260 F	716	300	1016	196	235	63



Spesifikasi *Misting Nozzle*

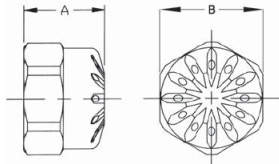
SS

Small Droplet Size Dense Fog

- DESIGN FEATURES
 - Twelve multiple flat fan patterns
 - Solid one-piece construction
 - Female connection
- SPRAY CHARACTERISTICS
 - Relatively small droplets
 - Spray pattern:** Dense full cone
 - Flow rates:** 2.40 to 157 gpm
 - Spray angles:** SS4.8 thru SS25 - 35°
SS35 thru SS70 - 45°



Fog



Dimensions are approximate. Check with BETE for critical dimension applications.

SS Flow Rates and Dimensions															
Full Cone Fog, 3/4", 1" and 1-1/4" Pipe Size															
Female Pipe Size	Nozzle Number	K Factor	GALLONS PER MINUTE @ PSI										Dimensions (in.)		Wt. (oz.)
			10 PSI	20 PSI	30 PSI	40 PSI	50 PSI	60 PSI	80 PSI	100 PSI	150 PSI	200 PSI	A	B	
3/4	SS4.8	0.759	2.40	3.39	4.16	4.80	5.37	5.88	6.79	7.59	9.3	10.7	1.0	1.25	3
	SS9	1.42	4.50	6.36	7.79	9.00	10.1	11.0	12.7	14.2	17.4	20.1			
	SS12	1.90	6.00	8.49	10.4	12.0	13.4	14.7	17.0	19.0	23.2	26.8			
	SS18	2.85	9.00	12.7	15.6	18.0	20.1	22.0	25.5	28.5	34.9	40.2			
1	SS25	3.95	12.5	17.7	21.7	25.0	28.0	30.6	35.4	39.5	48.4	55.9	1.16	1.50	5
	SS35	5.53	17.5	24.7	30.3	35.0	39.1	42.9	49.5	55.3	67.8	78.3			
1 1/4	SS50	7.91	25.0	35.4	43.3	50.0	55.9	61.2	70.7	79.1	96.8	112	1.22	1.88	8
	SS70	11.1	35.0	49.5	60.6	70.0	78.3	85.7	99.0	111	136	157			

Flow Rate (GPM) = K · √PSI

Standard Materials: Brass, 303 and 316 Stainless Steel.

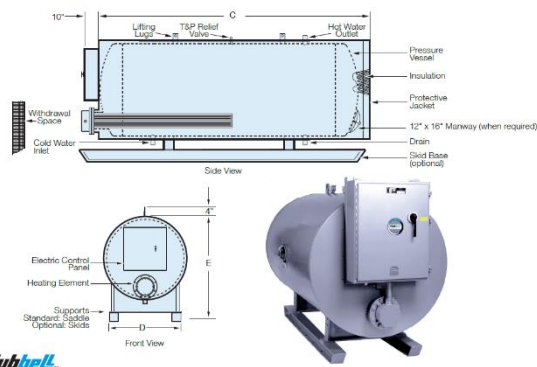
Spray angle performance varies with pressure. Contact BETE for specific data on critical applications.

MISTING

CALL 413-772-0846
Call for the name of your nearest BETE representative.

Spesifikasi Pemanas dan Penampung Air

Model H (Horizontal)



Recovery Ratings and Amperage at Selected KW

KW INPUT	BTU/HR RATING	Gallons Per Hour (GPH) Heated At Various Temperature Rises					Amperage Rating At Various Voltages				
		60°FΔ	80°FΔ	100°FΔ	120°FΔ	140°FΔ	208V3φ	240V3φ	380V3φ	415V3φ	480V3φ
15	51,195	103	77	62	51	44	42	36	23	21	18
20	68,260	137	103	82	68	59	56	48	30	28	24
25	85,325	171	128	103	85	73	69	60	38	35	30
30	102,390	205	154	123	103	88	83	72	46	42	36
35	119,455	239	179	144	120	103	97	84	53	49	42
40	136,520	273	205	164	137	117	111	96	61	56	48
45	153,585	308	231	185	154	132	125	108	68	63	54
50	170,650	342	256	205	171	146	139	120	76	70	60
55	187,715	376	282	226	188	161	153	132	84	77	66
60	204,780	410	308	246	205	176	167	145	91	84	72
65	221,845	444	333	267	222	190	181	157	99	91	78
70	238,910	478	359	287	239	205	195	169	106	97	84
75	255,975	513	384	308	256	220	208	181	114	104	90
80	273,040	547	410	328	273	234	222	193	122	111	96
85	290,105	581	436	349	290	249	236	206	129	118	102
90	307,170	615	461	369	308	264	250	217	137	125	108
95	324,235	649	487	390	325	278	258	229	145	133	114
100	341,300	683	513	410	342	293	278	241	152	139	120
110	375,430	762	564	451	376	322	306	265	167	153	132
120	409,560	820	615	492	410	351	333	289	183	167	145
125	426,625	854	641	513	427	366	347	301	190	174	151
150	511,950	1025	769	615	513	439	417	361	228	209	181
175	597,275	1196	897	718	598	513	486	421	266	244	211
200	682,600	1367	1025	820	683	586	556	482	304	279	241
225	767,925	1538	1153	923	769	659	625	542	342	313	271
250	853,250	1708	1281	1025	854	732	695	602	380	348	301
275	938,575	1879	1409	1128	940	805	764	662	419	383	331
300	1,023,900	2050	1538	1230	1025	879	834	723	456	418	361
325	1,109,225	2221	1666	1333	1110	952	903	783	494	453	391
350	1,194,550	2392	1794	1435	1196	1025	973	843	532	487	421
375	1,279,875	2563	1922	1538	1281	1098	1042	903	570	522	452
400	1,365,200	2733	2050	1640	1367	1171	1112	963	608	557	482
450	1,535,850	3075	2306	1845	1538	1318	1251	1084	685	627	542
500	1,706,500	3417	2563	2050	1708	1464	1390	1204	761	696	602
1000	3,412,000	6833	5125	4100	3417	2920	2779	2408	1521	1393	1204
1200	4,094,400	8200	6150	4920	4100	3514	3335	2890	1825	1671	1445
1400	4,776,800	9657	7175	5740	4783	4100	3901	3372	2130	1950	1686
1600	5,459,200	10933	8200	6560	5467	4686	4446	3854	2434	2229	1927

Tabel Perhitungan Analisis Transient

Trans Analyze								
To	Re	Nu	h (W/m ² K)	Bi	Fo	time required (s)	time required (min)	time required (hour)
30	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.098901	1224.003	20.40004	0.34000071
33	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.154954	1917.713	31.96188	0.53269807
36	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.216529	2679.763	44.66271	0.74437852
39	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.284834	3525.102	58.7517	0.97919504
42	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.361522	4474.198	74.56996	1.24283274
45	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.448944	5556.131	92.60218	1.54336961
48	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.5506	6814.231	113.5705	1.89284192
51	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.672046	8317.242	138.6207	2.31034499
54	612	15.836	5.938636369	0.593863637	0.822894	10184.14	169.7356	2.82892743
57	612	15.836	5.938636369	0.593863637	1.022089	12649.37	210.8228	3.5137139
60	612	15.836	5.938636369	0.593863637	1.316079	16287.79	271.4631	4.52438544
65	612	15.836	5.938636369	0.593863637	10.96447	135696.2	2261.604	37.6933984

Tabel Perhitungan Perubahan Beban Internal Terhadap Waktu

time req (min)	h (W/m ² K)	A (m ²)	T (°C)	Ts (°C)	Q (Watt)	Q (kWatt)
20.40004	5.9	280.64	65	38.60809	43699.1	43.6991
31.96188	5.9	280.64	65	40.87025	39953.46	39.95346
44.66271	5.9	280.64	65	43.13241	36207.82	36.20782
58.7517	5.9	280.64	65	45.39458	32462.19	32.46219
74.56996	5.9	280.64	65	47.65674	28716.55	28.71655
92.60218	5.9	280.64	65	49.91891	24970.91	24.97091
113.5705	5.9	280.64	65	52.18107	21225.28	21.22528
138.6207	5.9	280.64	65	54.44323	17479.64	17.47964
169.7356	5.9	280.64	65	56.7054	13734	13.734
210.8228	5.9	280.64	65	58.96756	9988.365	9.988365
271.4631	5.9	280.64	65	61.22973	6242.728	6.242728
300.2533	5.9	280.64	65	61.98378	4994.182	4.994182

Properti Udara Lembab pada Tingkat Kondisi 1, 2, dan 3

#	Temp. (T)	Wet Bulb Temp (T _{wet})	Enthalpy (Ht)	Absolute Humidity (w)	Relative Humidity (phi)	Dew Point Temp (T _{dew})	Excess Water (w - w _{sat})
	°C	°C	kJ/kg (dry air)	kg water/kg dry	%	°C	kg water/kg dry
1	61.51	61.51	516.3	0.1663	100	61.51	0
2	213.9	67.86	702.3	0.1663	1.037	61.51	0
3	65	65	619.6	0.204	100	65	0

Properti Air pada Analisis Pemanas Air dan *Ejector*

#	Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific Entropy	Quality	Phase
	C	MPa	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K		
1	30	0.1	0.001004	125.8	125.9	0.4368		Compressed Liquid
2	60	0.1	0.001017	251.1	251.2	0.831		Compressed Liquid
3	60	0.01994	0.001017	251.1	251.1	0.8311	0	Saturated Liquid
4	60	0.01994	7.671	2457	2610	7.909	1	Saturated Vapor
5	65	0.01994	7.789	2464	2619	7.938		Superheated Vapor
6	65	0.02503	0.00102	272	272	0.8934	0	Saturated Liquid
7	65	0.02503	6.197	2463	2618	7.831	1	Saturated Vapor

Properti Buah Apel

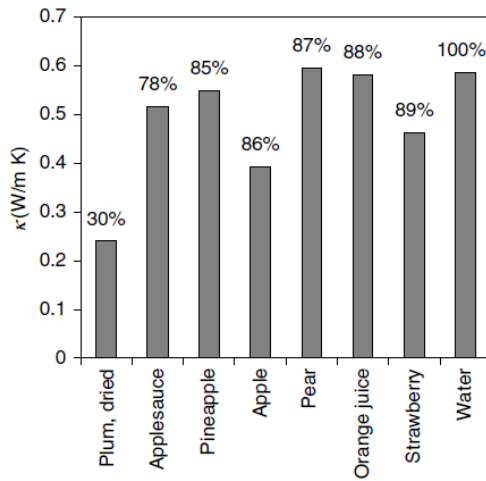


Figure 4.2. Measured κ of selected fruits and fruit products at ambient temperature.

Food	Specific Heat - liquids (above freezing)			Specific Heat - solids (below freezing)		
	(btu/(lb°F))	(kJ/(kg°C))	(kcal/(kg°C))	(btu/(lb°F))	(kJ/(kg°C))	(kcal/(kg°C))
Apples	0.87	3.64	0.87	0.42	1.76	0.42
Apricots, fresh	0.88	3.68	0.88	0.43	1.8	0.43
Artichokes	0.87	3.64	0.87	0.42	1.76	0.42
Asparagus	0.94	3.94	0.94	0.45	1.88	0.45

[illegible][illegible]

BIODATA PENULIS



Andrian Sutriawan dilahirkan di Jakarta, 16 Nopember 1993 merupakan anak dari Sumantri dan Tintrin Wachjuni. Riwayat pendidikan penulis diawali di TK Islam Al-Azhar Jakapermai pada tahun 1998-2000, lalu berlanjut pada SD Islam Al-Azhar 6 Jakapermai pada tahun 2000-2006. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Islam Al-Azhar 8 Kemang Pratama pada tahun 2006-2009, kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 81 Jakarta pada tahun 2009-2012. Penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui program reguler sebagai angkatan M55.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik, kepanitiaan, dan organisasi selama proses perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis menjadi Staff Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Mesin pada tahun 2013-2014. Pada tahun 2014-2015, penulis aktif menjadi Kepala Biro eksternal di Departemen Hubungan Luar sekaligus menjabat sebagai Ketua *Steering Committee* pada kepanitiaan Ini Lho ITS! 2015 yang merupakan program kerja BEM ITS.

Salah satu motto penulis adalah ***“Lakukan yang terbaik dan persiapkan untuk yang terburuk”***, sehingga penulis selalu berusaha dalam kondisi apapun dan lebih siap dalam menghadapi rintangan, sehingga penulis dapat menjadi pribadi yang lebih bermanfaat bagi diri sendiri dan orang lain.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”